



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

MÁSTER EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Desarrollo modular de un andador inteligente

Autor: D. Lendy Abel Sánchez Vázquez

Tutor: D. Eduardo Zalama Casanova

Valladolid, junio de 2020



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

MÁSTER EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Desarrollo modular de un andador inteligente

Autor: D. Lendy Abel Sánchez Vázquez

Tutor: D. Eduardo Zalama Casanova

Valladolid, junio de 2020

RESUMEN

En la actualidad muchos esfuerzos de investigación en el campo de la robótica y la electrónica están muy enfocados en mejorar el bienestar personal, en especial el de las personas mayores. Muchas áreas de la ingeniería se ven involucradas en este proceso de creación de dispositivos que hagan la vida mucho más sencilla, como son el control, la mecánica, los sistemas electrónicos y de medidas, entre otros.

El presente proyecto comprende la modificación de un andador convencional, incorporando en el mismo distintos módulos que permitan la autonomía y la realización de ciertas tareas, transformándolo en un andador inteligente. Para realizar este objetivo se implementará un sistema de motorización y un sistema de seguimiento del usuario, el cual permitirá una constante monitorización de la velocidad de desplazamiento del mismo y de esta manera ajustar su propia velocidad. También se incorporará un sistema de teleoperación que cuenta con tres métodos alternativos para poder dirigir mediante ordenes al andador: un dispositivo móvil utilizando un joystick para indicar la dirección deseada; micrófonos para detectar la posición según el ángulo de procedencia de determinado sonido emitido por el usuario; y un sistema de reconocimiento de comandos de voz.

Para lograr implementar estas funciones se hará uso de un microcontrolador programable, a través de Arduino IDE, el cual constituirá el centro de control del andador.

ABSTRACT

Currently, many research efforts in the field of robotics and electronics are focused on improving personal well-being, especially for the elderly. Many areas of engineering are involved in this process of creating devices that make life much easier, such as control, mechanics, electronic and measurement systems, among others.

This project includes the modification of a conventional walker, incorporating different modules that allow autonomy and the performance of certain tasks, transforming it into an intelligent walker. To achieve this objective, a motorization system and a user tracking system will be implemented, which will allow constant monitoring of the user's movement speed and thus adjust his own speed. A teleoperation system will also be incorporated, which has three alternative methods for directing by means of orders to the walker: a mobile device using a joystick to indicate the desired direction; microphones to detect the position according to the angle of the origin of a certain sound emitted by the user; and a voice command recognition system.

In order to implement these functions, a programmable microcontroller will be used through Arduino IDE, which will be the control center of the walker.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	PROBLEMÁTICA	1
1.2.	OBJETIVOS	2
1.3.	ESTRUCTURA DEL TRABAJO.....	3
2	ESTADO DE LA CUESTIÓN O FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1.	MOTORIZACIÓN.....	5
2.1.1.	COMPARATIVA.....	5
2.2.	ENGRANAJES	7
2.3.	SENSORES DE DISTANCIA.....	7
2.4.	MICRÓFONOS.....	9
2.5.	RECONOCIMIENTO DE VOZ.....	10
2.6.	ANDADORES COMERCIALES.....	11
2.6.1.	VENTAJAS	12
2.6.2.	DESVENTAJAS	13
2.7.	ANDADORES INTELIGENTES.....	13
2.7.1.	VENTAJAS	13
2.7.2.	DESVENTAJAS	14
3	DESARROLLO	15
3.1.	EL MICROPROCESADOR.....	15
3.2.	MOVILIDAD O MOTORIZACIÓN	17
3.2.1.	ANÁLISIS DE VELOCIDAD Y PAR	17
3.2.2.	PROGRAMACIÓN DE LA RUTINA	20
3.3.	SISTEMA DE SEGUIMIENTO	22
3.4.	TELEOPERACIÓN	28
3.4.1.	IMPLEMENTACIÓN BÁSICA DE UN SISTEMA DE TELEOPERACIÓN MEDIANTE MÓVIL	28
3.4.2.	DETECCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO MEDIANTE MICRÓFONOS	32
3.4.3.	RECONOCIMIENTO DE COMANDOS DE VOZ SENCILLOS	39
4.	RESULTADOS	43
4.1.	RESPECTO A LA MOTORIZACIÓN.....	43
4.2.	RESPECTO AL SISTEMA DE SEGUIMIENTO	44
4.3.	RESPECTO A LA TELEOPERACIÓN	45

4.3.1. TELEOPERACIÓN MEDIANTE MÓVIL.....	46
4.3.2. DETECCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO MEDIANTE MICRÓFONOS	46
4.3.3. RECONOCIMIENTO DE COMANDOS DE VOZ SENCILLOS	48
5. ESTUDIO ECONÓMICO.....	53
5.1. RECURSOS EMPLEADOS.....	53
5.2. COSTES DIRECTOS	53
5.3. COSTES INDIRECTOS.....	57
5.4. COSTES TOTALES.....	58
6. CONCLUSIONES	59
REFERENCIA	61
ANEXOS.....	63

FIGURAS

Figura 2.1 A) Andador estándar B) Andador de dos ruedas C) Andador de cuatro ruedas o Rollator	11
Figura 3.1 Pinout del módulo ESP32-WROOM-32.....	16
Figura 3.2 Motor EMG30	17
Figura 3.3 Engranajes A) Cara frontal B) Cara trasera	18
Figura 3.4 Base de los motores A) Lado Izquierdo B) Lado Derecho.....	19
Figura 3.5 Diagrama de casos de uso de motorización básica	21
Figura 3.6 Diagrama de flujo de la motorización básica	22
Figura 3.7 Diagrama de caso de uso del sistema de seguimiento	24
Figura 3.8 Diagrama de flujo del sistema de seguimiento	25
Figura 3.9 Distancia medida con el sensor (Programa básico)	25
Figura 3.10 Distancia medida con el sensor (eliminación de picos)	27
Figura 3.11 Distancia medida con el sensor (Filtro Kalman).....	27
Figura 3.12 Servidor Web HTML	29
Figura 3.13 Diagrama de uso de teleoperación con servidor Web	31
Figura 3.14 Diagrama de flujo de teleoperación con servidor Web	31
Figura 3.15 Diagrama de caso de uso de detección de la posición.....	32
Figura 3.16 Sonido sin ruidos externos	33
Figura 3.17 Sonido con aplausos	33
Figura 3.18 Sonido con aplausos a 3m de distancia	34
Figura 3.19 Diagrama de flujo para detección de palmadas.....	34
Figura 3.20 Detección de un aplauso	35
Figura 3.21 Maqueta prototipo de detección de sonido.....	35
Figura 3.22 Disposición de los ejes de referencia según el ángulo de procedencia del sonido.....	36
Figura 3.23 Diagrama de flujo del programa para detección de la posición del usuario	37
Figura 3.24 Diagrama de flujo de la función “td_deteccion()”	38
Figura 3.25 Diagrama de flujo de la función “calc_angulo(td,dist)”	39
Figura 3.26 Módulo de reconocimiento de voz.....	39
Figura 3.27 Caso de uso de módulo de reconocimiento de voz.....	40
Figura 3.28 Diagrama de flujo del programa de reconocimiento de voz.....	42
Figura 4.1 Andador con las piezas diseñadas montadas	44
Figura 4.2 Distancia medida por el sensor A) Básica B) Eliminación de picos C) Utilización de filtro Kalman	45
Figura 4.3 Resultado de medida de posición.....	47
Figura 4.4 Eficacia del módulo de detección de la posición del usuario	48
Figura 4.5 Respuesta a comandos de voz	49

TABLAS

Tabla 1 Comparativa entre motores Brushless y motores con escobilla.....	5
Tabla 2 Par necesario según ángulo de inclinación.....	20
Tabla 3 Sección de datos medidos.....	26
Tabla 4 Comportamiento del motor según el ángulo de incidencia.....	29
Tabla 5 Factor de marcha del motor según el ángulo.....	30
Tabla 6 Distribución de los grupos y comandos de voz.....	41
Tabla 7 Respuesta del módulo según el grupo y el comando de voz.....	42
Tabla 8 Porcentaje de fallos y aciertos.....	47
Tabla 9 Aciertos y errores del comando Avanzar.....	50
Tabla 10 Aciertos y errores del comando Retroceder.....	50
Tabla 11 Aciertos y errores del comando Derecha.....	50
Tabla 12 Aciertos y errores del comando Izquierda.....	51
Tabla 13 Aciertos y errores del comando Parar.....	51
Tabla 14 Coste anual del personal.....	54
Tabla 15 Días efectivos por año.....	54
Tabla 16 Distribución temporal de trabajo.....	55
Tabla 17 Amortización del material.....	56
Tabla 18 Materiales directos.....	57
Tabla 19 Costes indirectos.....	58
Tabla 20 Costes totales.....	58

ANEXOS

Anexo 1 Datasheet ESP32 64
Anexo 2 Circuito de la motorización básica 65
Anexo 3 Circuito del sistema de seguimiento 66
Anexo 4 Circuito del sistema de detección de posición 67
Anexo 5 Circuito del módulo de reconocimiento de voz 68
Anexo 6 Instrucciones del módulo de reconocimiento de voz 69
Anexo 7 Proyección de la rueda del andador y montaje de piezas diseñadas 70

AGRADECIMIENTOS

Realizar un proyecto como este conlleva la colaboración conjunta de muchos factores a tu alrededor. Muchas personas han colaborado y hecho posible, tanto en el ámbito personal como en el profesional, la finalización del presente trabajo.

Agradezco a mi familia, en especial a mis padres, porque gracias a ellos he podido llegar muy lejos, gracias a sus consejos he logrado superarme y ser mejor cada día.

Agradezco a mi novia, a mis amigos y a aquellas personas cercanas a mí, que más allá de la ayuda brindada, simplemente con su apoyo y confianza hacen más que suficiente.

Por último, quiero agradecer a mi tutor Eduardo Zalama Casanova. Su labor y ayuda han sido fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

1 INTRODUCCIÓN

La llegada de la senectud suele ir acompañada de situaciones en las que la movilidad se ve sensiblemente comprometida. Cuando una persona tiene una capacidad disminuida en la movilidad, puede ser indicada la utilización de un andador. Es importante destacar que la utilización de andadores no sólo está limitada a los ancianos, dado que hay muchas personas que, por diferentes motivos, relacionados con su capacidad de desplazamiento, pueden necesitar de sus beneficios cuando se presentan problemas de movilidad reducida, cansancio muscular de los miembros inferiores y trastornos en el control del equilibrio. Aunque, en algunos casos, la adopción del andador pueda resultar un reto psicológico, cuando una persona rompe la barrera y comienza a utilizar esta ayuda técnica, se ve beneficiada en diversos aspectos, tanto físicos como sociales, psicomotrices, intelectuales, mentales y/o emocionales.

Mantener una vida activa, gracias al uso del andador, ayuda a que las articulaciones no pierdan su elasticidad, a que la musculatura gane fuerzas y la circulación sanguínea mejore. Cuando la persona gana independencia con el uso del andador y puede salir a la calle, esto le permite relacionarse con la gente y mantener una vida social activa. Al salir al exterior y mantener conversaciones con otras personas, los usuarios de andadores consiguen despejar su mente y mantenerla igual de activa que su cuerpo. Es una excelente manera de conservar tanto las capacidades intelectuales como la forma física. Además, con el paso del tiempo, logra un mayor equilibrio y estabilidad, tanto en posición estática como en pleno movimiento, lo que le hace ganar confianza y fortalecer su autoestima. Al caminar con el andador se hace ejercicio y, por lo tanto, sube el ánimo y eleva el bienestar mental, uno se muestra más alegre y duerme mejor. [\[1\]](#)

1.1. PROBLEMÁTICA

El andador más popular y extendido actualmente es el de cuatro ruedas, más conocido como “Rollator”, suele ser el más rápido y fácil de usar para caminar y generalmente, viene con asientos o cestas incorporados. Pero presenta dificultades a la hora de plegarse para su transportación, además de ser el que más accidentes ocasiona [\[2\]](#). Estos dispositivos deben ser usados con precaución ya que es relativamente sencillo que las ruedas giren de imprevisto, provocando situaciones indeseadas que pueden dar lugar a accidentes.

Las caídas se producen como resultado de una compleja interacción de factores de riesgo que se clasifican en tres categorías diferentes: ambientales, de comportamiento y biológicos. Los factores ambientales encapsulan la interacción de la condición física de los individuos y el ambiente que los rodea: incluyen peligros en el hogar y en el entorno público. Los factores de riesgo conductuales incluyen los relativos a las acciones humanas y los estados afectivos. Los factores biológicos abarcan las características de los individuos que pertenecen al cuerpo humano como la edad, el sexo e impedimentos físicos. [\[3\]](#)

Recientemente, los investigadores en el campo tecnológico han comenzado a encontrar soluciones que pueden ayudar a los fisioterapeutas a realizar su trabajo con más eficiencia. La robótica surge con particular interés en mejorar la seguridad en el uso de los andadores, especialmente considerando la prevención de caídas, la evaluación precisa de las funciones motoras y ayuda adicional a los usuarios. Por lo tanto, los investigadores se han dedicado a crear maneras efectivas de asistir y evaluar el estado de los usuarios, surgiendo, por consiguiente, los andadores inteligentes [1].

A partir de esto, surge la necesidad de crear andadores mucho más seguros, capaces de aportar la confianza necesaria a los usuarios. Añadir diversas prestaciones de una forma u otra a los andadores convencionales se va volviendo cada vez más inminente, no sólo por el avance de las tecnologías y la robótica, sino también para solventar todas las desventajas que puedan tener los andadores convencionales.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo general de este proyecto consiste dotar a un andador comercial de distintas utilidades, las mismas serán incorporadas a través de módulos dentro del área de la automatización y la robótica. Este andador inteligente ayudará en la movilidad e independencia de sus usuarios.

Dentro de este gran objetivo, se llevará a cabo el estudio de diversos métodos, y a su vez, la selección del más apropiado. Esto da como resultado los siguientes objetivos específicos:

1.2.1. ESPECIFICACIONES DEL ANDADOR

Andin es el nombre que recibe el andador inteligente a desarrollar, y es un andador de bajo coste al cual se le podrán añadir varios módulos, no solamente los mencionados en este proyecto. El objetivo de *Andin* es asistir de manera autónoma a su usuario, lograr que el desplazamiento de este sea más fluido en distintos entornos y estar siempre al alcance, pudiendo moverse de manera independiente hacia la localización del usuario. Para esto se proponen algunas especificaciones o funcionalidades para alcanzar esta meta:

1. Se realizará la motorización del andador para que sea capaz de ejecutar acciones de manera independiente. Esto es fundamental para hacer posible la incorporación del resto de módulos inteligentes.
2. Se incluirá un sistema de micrófonos multidireccionales, capaces de detectar la dirección de algún sonido predefinido, con el objetivo de dirigirse de forma autónoma hacia el usuario siguiendo la fuente de sonido. Adicionalmente, el andador podrá ser teleoperado mediante comandos de voz sencillos del tipo “adelante”, “atrás”, “frente”, “izquierda”, “derecha”, entre otros. También podrá ser controlado mediante un pequeño mando joystick y/o teléfono smartphone (Android o IOS).

3. Se incorporarán sensores de ultrasonidos o láser que monitorizarán la distancia a la que se encuentran los usuarios del andador para adecuar su marcha. Adicionalmente, llevará sensores táctiles en los asideros del andador para interrumpir la marcha en el caso de que alguno de los dos asideros no esté en contacto con las manos del usuario.

1.3. ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Luego de definir los objetivos del proyecto, pasamos a definir las distintas partes en las que se encuentra dividido y los distintos temas que se abordan en cada uno de los capítulos, con la intención de facilitar la comprensión general del presente proyecto.

En el segundo capítulo se abordarán todos los temas relativos al estado de la tecnología actual de las herramientas, métodos y elementos que se implementarán con este proyecto. Se tratarán temas relativos a la motorización, sensorización, acoplamiento y transmisión de potencia, andadores tanto comerciales como inteligentes; así como las diferentes ventajas y desventajas de los diversos elementos a tener en cuenta en este proyecto.

El tercer capítulo es el más vasto, y mostrará los distintos métodos y su implementación. Tratará la manera en la que se llevarán a cabo las distintas soluciones para alcanzar los objetivos propuestos, tomando las consideraciones necesarias y justificando el motivo que lleva a tomar dicha solución. Luego se procederá a implementar los métodos y soluciones previamente establecidos, explicando el proceso de desarrollo del proyecto y los pasos seguidos.

En el cuarto capítulo se podrán apreciar los resultados obtenidos en el proyecto. Se presentarán las respuestas de los distintos módulos implementados y su funcionamiento una vez terminados.

En el capítulo quinto se realizará un análisis económico para el proyecto, señalando todos los costes y gastos necesarios para la ejecución del proyecto y de esta manera poder hacer un análisis de viabilidad.

Para concluir, el capítulo sexto mostrará de manera general todo lo logrado luego de realizar lo anteriormente planteado, con el fin de valorar si se considerarán cumplidos o no los objetivos. También se determinará qué tan viable puede llegar a ser el presente proyecto. Además, se plantearán las posibles áreas o campos a tratar para una posible mejora o continuación del proyecto realizado.

2 ESTADO DE LA CUESTIÓN O FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. MOTORIZACIÓN

Para hablar de motorización debemos buscar la definición de dicha palabra. Según la Real Académica Española (RAE) se determina como:

1. f. Acción y efecto de motorizar.

Si se busca el significado de motorizar, hallamos:

1. tr. Dotar de medios mecánicos de tracción

Por lo que podemos entender, en el marco de nuestro trabajo, al motorizar al andador, lo estamos dotando de elementos mecánicos los cuales le brindan movimiento. Para ello, requerimos utilizar, como elemento principal, un motor. Para los fines propuestos, el motor a utilizar debe ser de reducido tamaño, por lo que nos decantaremos por motores de corriente directa, más conocidos como motores DC.

Los motores de corriente directa (DC) son los más comúnmente usados debido a su amplio rango y facilidad para controlar velocidad o par en aplicaciones de menor envergadura. Sin embargo, los motores DC presentan un inconveniente: la necesidad de dispositivos mecánicos, como son conmutadores y escobillas, para lograr una operación correcta. Estos elementos mecánicos requieren un mantenimiento regular para evitar problemas con el funcionamiento del motor DC.

Los motores DC pueden ser clasificados en tres tipos: motores DC con excitación independiente, motores DC autoexcitados y motores DC sin escobillas.

2.1.1.COMPARATIVA

Para ver las distintas características de los motores DC de manera más clara, los separamos en los dos grandes grupos de motores con escobilla y motores sin escobillas.

[\[4\]](#)

Tabla 1 Comparativa entre motores Brushless y motores con escobilla

Características	Motores Brushless	Motores con escobillas
Estructura mecánica	El campo magnético del estator se origina por el devanado de armadura y el del rotor se origina por imanes permanentes	El campo magnético del estator se origina por imanes permanentes y el del rotor se origina por el devanado de armadura

Mantenimiento	Sin o con poco mantenimiento	Mantenimientos periódicos a causa de las escobillas
Característica Torque-Velocidad	Lineal - Operación a todas las velocidades con carga nominal	Moderada - Pérdidas del torque debido a las pérdidas en las escobillas
Eficiencia	Alta – Sin pérdidas por escobillas, el estator está fuera de la periferia por lo que es capaz de disipar más calor y producir más torque	Moderada – Pérdidas en las escobillas, el rotor está en el interior de la periferia
Método de conmutación	Usa conmutador de estado sólido	Contacto mecánico entre las escobillas y el conmutador
Rango de velocidad	Alto – No hay pérdidas por escobillas	Moderado – Pérdidas en las escobillas
Ruido	Bajo	Alto – A causa de las escobillas
Métodos de detección de la posición del rotor	Sensores Hall, Encoders Ópticos, etc.	Detectada automáticamente por las escobillas y el conmutador
Reversa	Invirtiendo la secuencia del conmutador	Invirtiendo el terminal de voltaje
Requisitos para el Control	Un controlador siempre es requerido para controlar la secuencia de conmutación	No se requiere control para una velocidad fija, se requiere control para velocidades variables
Coste	Alto – Debido al sistema de control que se requiere	Bajo

Como se puede observar, ambos poseen ventajas y desventajas muy variadas. Debido a nuestra aplicación y a la facilidad de uso y de control de los motores con escobilla, además del bajo costo que tienen, se considera comenzar las pruebas y realizar la motorización del andador utilizando dichos motores.

2.2. ENGRANAJES

Cuando se requiere transmitir potencia desde un punto a otro en una aplicación dada muchos pueden ser los métodos a utilizar, entre ellos se pueden encontrar: barras en mecanismos articulados, cables, cadenas de transmisión, correas o bandas de transmisión, poleas, ruedas de fricción, discos de fricción, engranajes, entre otros.

El engranaje de dientes rectos, es el menos costoso y fácil de fabricar de todos los tipos de engranajes. Además, permite el fácil acoplamiento y desacoplamiento mediante el uso de mecanismos de eje y embragues deslizantes.

Cuando dos engranajes están acoplados, la velocidad lineal está dada por

$$V = |r_1\omega_1| = |r_2\omega_2| \quad (2.2.2)$$

Donde V es la velocidad lineal, r_1 es el radio del engranaje 1, r_2 es el radio del engranaje 2, ω_1 es la velocidad angular del engranaje 1 y ω_2 es la velocidad angular del engranaje 2. Por tanto, la relación de velocidad es:

$$\left| \frac{\omega_1}{\omega_2} \right| = \frac{r_2}{r_1} \quad (2.2.3)$$

Lo mismo puede ser relacionado con otros elementos dentro del diseño de los engranajes y ser definidos como

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{d_2}{d_1} \quad (2.2.4)$$

Donde n_1 y n_2 son las velocidades rotacionales (rpm) de los engranajes 1 y 2 respectivamente, N_1 y N_2 son el número de dientes de los engranajes 1 y 2 respectivamente y d_1 y d_2 son los diámetros de los engranajes 1 y 2 respectivamente.

[5]

Generalmente, cuando la distancia entre los puntos que se requiere transmitir la potencia es una distancia grande, los engranajes quedan descartados y es más común la utilización de poleas o correas. Sin embargo, cuando se requiere un sistema compacto, eficiente o mecanismos de alta velocidad, los engranajes ofrecen una solución viable y competitiva con respecto a los otros métodos, además de brindar una solución viable para el acoplamiento y desacoplamiento del mismo, por lo que para lograr en el presente proyecto transmitir la potencia generada por los motores a las ruedas del andador haremos uso de engranajes de dientes rectos.

2.3. SENSORES DE DISTANCIA

En la actualidad, existe una amplia gama de dispositivos y sensores para determinar la distancia relativa de algunos objetos en nuestro entorno. Partiendo de esto, también podemos determinar la distancia a la que se encuentra el usuario de nuestro andador inteligente con el objetivo de lograr que este sea capaz de predecir las intenciones del usuario, así como de detectar posibles caídas o distanciamientos accidentales del andador. Dependiendo de la aplicación que se requiera, se puede usar uno u otro tipo de

sensor. En nuestro caso, este se utilizará para medir cortas distancias y las mediciones han de ser relativamente precisas. Teniéndolo en cuenta, encontramos entre los sensores más usados los siguientes tipos:

- Los sensores de Ultrasonido
- Los sensores Ópticos (Infrarrojos)

Estos sensores de proximidad trabajan libres de roces mecánicos y son capaces de detectar objetos a distancias variables, ya sea a pocos centímetros o a algunos metros de distancia.

Los *sensores de ultrasonido* funcionan a partir de la utilización de ondas de sonidos que viajan por el aire. Un emisor genera una onda ultrasónica a la velocidad del sonido y, al chocar con un objeto capaz de reflejar la onda, ésta regresa al receptor localizado en el mismo dispositivo. A partir de la diferencia de tiempo de llegada con respecto al de salida, y utilizando la fórmula de desplazamiento $v = d * t$, podemos determinar la distancia del objeto. Estos dispositivos tienen la ventaja de poder detectar objetos de cualquier color o material, sin tener que aplicar algún factor de corrección, mientras estos reflejen la onda de sonido. Estos sensores se ven muy poco afectados por el ruido ambiental, debido a que su frecuencia de operación está muy por debajo de la frecuencia del sonido ambiente. Gracias al uso del sonido, otros elementos como la humedad, el polvo, la presión del aire, entre otros tienen muy poco efecto en ellos [6]. Por otro lado, su desventaja radica en sus zonas ciegas donde las medidas no son muy fiables, incluso algunos sensores de este tipo son poco precisos y no son capaces de dar medidas de distancia de muy corto rango y pasan a funcionar sólo como sensores de presencia. Además, a pesar de poder medir en diversos materiales, hay que tener en cuenta la rugosidad, la forma superficial, entre otros, ya que estas variaciones pueden causar medidas falsas en el dispositivo. [7]

Los *sensores ópticos (infrarrojos)* poseen un elemento capaz de detectar la radiación infrarroja que le llega a su horizonte o campo de visión mediante la utilización de un elemento llamado fototransistor. Estos sensores pueden ser pasivos y activos. Los sensores infrarrojos pasivos son aquellos que detectan la radiación emitida por los elementos utilizando solamente el fototransistor. Los sensores infrarrojos activos no sólo poseen el fototransistor, sino que también tienen un emisor LED que genera un haz de luz en el rango no visible del espectro, y con el que determina la distancia mediante el fenómeno de la reflexión calculando el tiempo que tarda en llegar la luz reflejada.

Los sensores infrarrojos se ven generalmente muy afectados por la luz ambiente y por el coeficiente de reflectividad de los objetos. Por lo que no se consideran indicados para medir distancias en entornos no controlados lumínicamente y con objetos variables. [8], [9]

Teniendo en cuenta el funcionamiento de estos sensores, podemos determinar cuál es el más propicio. Tomando en consideración que una de las principales tareas es determinar la posición del usuario y la onda se reflejará en distintas superficies (ropas) de colores variables, la capacidad de los sensores infrarrojos podría verse afectada. De esta manera, un sensor ultrasónico sería el más conveniente, no sólo por sus ventajas anteriormente mencionadas, sino también por su bajo costo.

2.4. MICRÓFONOS

En muchas aplicaciones prácticas es necesario transformar señales acústicas en una señal eléctrica. A lo largo de la historia, se han desarrollado diversas alternativas para lograr este objetivo. Pero no fue hasta 1917 que el físico estadounidense Edward C. Wente inventó el micrófono condensador, el cual revolucionó el uso de estos dispositivos y marcó el comienzo de la adquisición de datos electroacústicos de manera sofisticada. [\[10\]](#)

De manera general, un micrófono es capaz de proporcionar una señal de salida analógica la cual es proporcional a la variación de la presión acústica que actúa sobre un diafragma. En el presente proyecto haremos uso de los micrófonos para determinar la posición del usuario con respecto al andador teniendo en cuenta lo que tarde en llegar la onda de sonido de un micrófono a otro, por lo que necesitaremos realizar medidas precisas con respecto a la recepción de la onda y no se precisa de gran calidad con respecto al propio sonido. Existen varios tipos de micrófonos entre los que se encuentran:

Micrófonos dinámicos: son aquellos en los que un devanado eléctrico conectado al diafragma se mueve a través de un campo eléctrico, provocando un voltaje igual a la velocidad de movimiento del elemento. Estos tipos de micrófonos tienen muchas características propicias para aplicaciones de audio, pero poseen muy alta sensibilidad a las vibraciones, un rango dinámico limitado y su respuesta en frecuencia no es generalmente lo suficientemente plana para aplicaciones de medidas.

Micrófonos piezoeléctricos: son aquellos en los que la fuerza generada por la presión del sonido que actúa en un diafragma es transmitida a un elemento piezoeléctrico que genera una carga proporcional a la fuerza ejercida. Una de sus aplicaciones, debido a su robusto diseño, es la de medir pequeñas fluctuaciones dinámicas de presión que se encuentran por encima de grandes presiones estáticas. De manera general, se puede decir que, a pesar de sus ventajas, este posee mucho ruido de fondo, lo cual limita el uso de este tipo de micrófonos en aplicaciones de medida donde se requiera mucha precisión.

Micrófonos condensadores: su principio de funcionamiento depende del movimiento relativo del diafragma con respecto a un plano fijo, lo que provoca variación en la capacitancia proporcional a la deflexión del diafragma. Luego, un circuito eléctrico permite amplificar y convertir esta variación de capacitancia a una variación de voltaje. La alta sensibilidad, el amplio rango dinámico, el bajo ruido interno, la baja distorsión y la alta estabilidad son características que hacen ideal a este tipo de micrófonos para aplicaciones de medidas.

Los micrófonos condensadores pueden tener varias características generales, una de ellas es la respuesta direccional. En nuestro caso, se pretende utilizar un micrófono condensador “omnidireccional”, ya que en nuestra aplicación se busca localizar la posición de un sonido originado en cualquier dirección posible. Se puede decir que estos micrófonos no son totalmente omnidireccionales, pues existe una variación entre la parte frontal, donde se encuentra localizada la membrana, y la parte trasera, ya que la señal puede ser limitada por el cuerpo del micrófono y, por tanto, se puede ver reducida la intensidad de esta. [\[11\]](#)

2.5. RECONOCIMIENTO DE VOZ

Uno de los elementos más importantes de este proyecto representa el módulo de reconocimiento de comandos de voz para, de esta manera, actuar en consecuencia según se desea que se comporte el andador ante los comandos de voz. Para esto hay que tener en cuenta que cualquier sistema que pretenda obtener información a través del sonido, se enfrenta con un gran reto: la interferencia de sonidos producidos por otras fuentes que se superponen con la fuente de sonido principal. En la actualidad, se han realizados bastantes estudios y métodos con respecto a esta tecnología, más comúnmente conocida como Reconocimiento de Voz Automático, por sus siglas en inglés ASR, facilitando algoritmos y mecanismo para lograr un reconocimiento de voz correcto.

Un sistema ASR tiene cuatro componentes principales: procesamiento de señal y extracción de características, modelo acústico, modelo del lenguaje y búsqueda de hipótesis.

El procesamiento de la señal y la extracción de características parte de la señal de audio captada por el receptor, mejora la señal eliminando los posibles ruidos y distorsiones, convierte la señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia y extrae los vectores característicos más relevantes [12]. Una de estas representaciones se basa en la Característica de Patrones Temporales, métodos capaces de extraer del habla las características temporales para poder identificarlas e interpretarlas con más facilidad. Alguno de estos métodos son TRAP-TANDEM [13] y LP-TRAP [14]. También podemos destacar otras características como son las basadas en redes neuronales Perceptron Multicapas (MLP) (MLP) y otras muchas técnicas relacionadas con la modulación espectral. Una representación del habla más avanzada es FEPSTRUM [15], el cual usa la combinación de la modulación de amplitud (AM) y la *modulación de frecuencia* (FM), ambas características extraíbles de la señal del habla.

El *modelo acústico* integra los conocimientos sobre fonética y acústica, tomando como entrada las características generadas por la extracción realizada anteriormente, lo que da como resultado un modelo acústico para una amplitud variable de la secuencia característica recibida.

El *modelo del lenguaje* estima la probabilidad de una hipotética secuencia de la palabra, aprendiendo la correlación entre las palabras mediante un corpus de entrenamiento, o sea, una base de datos previas y preestablecida. El modelo del lenguaje puede ser mucho más preciso si posee conocimientos previos del dominio o la tarea a realizar.

El componente de *búsqueda de hipótesis* utiliza tanto el modelo acústico como el modelo de lenguaje para encontrar una secuencia del vector característico y la hipótesis de la secuencia de la palabra, y dar como salida la secuencia de una palabra de la manera más acertada.

[12]

Como se puede observar en lo anteriormente expuesto, el reconocimiento de voz es un proceso no tan sencillo, que incluye una serie de factores y procesos complejos. No obstante, con el desarrollo de estas tecnologías se pueden encontrar módulos electrónicos que realizan estos procesos internamente, y de forma automática son

capaces de ejecutar un buen reconocimiento de voz., método mucho más sencillo, considerando los límites del presente trabajo, ya que sería necesaria la realización de otro proyecto independiente, solamente dedicado a lograr este objetivo.

2.6. ANDADORES COMERCIALES

Desde hace mucho tiempo, a través de la historia, se han usados dispositivos para asistir a las personas con problemas de estabilidad, desde las sillas de ruedas hasta los bastones para alcanzar la estabilidad en usuarios no tan afectados. [16]

En la actualidad, el uso de estos dispositivos se ha generalizado. Esto se debe, en parte, al fenómeno del envejecimiento global, el cual implica la senectud gradual de la población. La población de más de 60 años está proyectada a crecer de 962 millones a 2.1 billones entre los años 2017 y 2050 [17]. Esto no sólo muestra un posible aumento actual de su uso sino también el crecimiento de la demanda de estos dispositivos en los años venideros.

Los andadores surgen como alternativa en los casos de problemas motores donde no es posible u oportuno el uso de bastón, pero tampoco es necesario el uso de la silla de ruedas. Estos comienzan a aparecer a comienzos de la década de 1950, adoptando distintos diseños e incluyendo incluso ruedas para facilitar el desplazamiento. [18], [19]

Existen, en la actualidad, diversos tipos de andadores. Los andadores estándares son los más estables, pero los más lentos al caminar, ya que el usuario debe levantarlos completamente del suelo a cada paso. Los andadores de ruedas delanteras son menos estables que los estándares, pero mantienen a un ritmo más normal el paso y son mejores para aquellos que no puedan levantar un andador estándar. Los andadores de cuatro ruedas, también conocidos como Rollator [16], son útiles para los pacientes de alto rendimiento que no los necesitan para soportar peso, son más fáciles de impulsar, por lo que son los que más sencillamente se adaptan al paso del usuario. [2]. Podemos observar su forma física de manera general en la Figura 2.1, aunque pueden variar en algunos aspectos constructivos o de diseño.



Figura 2.1 A) Andador estándar B) Andador de dos ruedas C) Andador de cuatro ruedas o Rollator

De acuerdo con diversos factores, síntomas o dolencias se puede determinar cuándo puede ser conveniente el uso de andadores. Algunas de las razones pueden ser las siguientes:

- Problemas de movilidad reducida:

Cuando la persona ya no es capaz de permanecer en pie de manera segura durante un determinado período de tiempo. Los motivos pueden ser diversos, desde una herida que está en proceso de cicatrización, una mala circulación o la recuperación tras haber sufrido una fractura por una caída. En estos casos, lo mejor es contar con un andador que les ayude a soportar su propio peso.

- Tendencia a fatigarse con facilidad:

Esta fatiga puede producirse por el proceso natural de envejecimiento o por enfermedades específicas, como la artritis o dolencias de carácter respiratorio. Con ayuda del andador, las personas que se fatigan pueden realizar respiraciones más profundas y lentas, resistiendo un mayor tiempo de actividad física.

- Incapacidad de mantener un correcto equilibrio:

Entre las causas que puede llevar a la pérdida de estabilidad y equilibrio se encuentran la presión arterial baja, un desequilibrio en el oído interno o incluso enfermedades más graves como la esclerosis múltiple. El andador les aportará la seguridad de tener donde apoyarse y los ayudará a mantener su condición física.

2.6.1.VENTAJAS

El uso de andadores ofrece ciertas ventajas, principalmente a las personas mayores, ya que estos representan la mayoría de los usuarios.

- Son dispositivos que ofrecen seguridad y estabilidad en los desplazamientos, imposibles de conseguir de manera natural.
- Estos aparatos prácticamente no precisan mantenimientos grandes, basta con limpiezas y revisiones periódicas. En caso de ser necesario, se pueden cambiar los tacos antideslizantes o las ruedas.
- El mantenimiento de la actividad física gracias al uso de los andadores, favorece a que las articulaciones no pierdan su elasticidad, a que la musculatura gane fuerza y la circulación sanguínea mejore.
- Concede a los usuarios la posibilidad de ganar una mayor independencia y fortalecer su autoestima ya que les permite salir a la calle y mantener su vida social activa, lo que trae consigo ventajas tales como el despeje de la mente y habilita a mantenerla igual de activa que el cuerpo.

2.6.2.DESVENTAJAS

A pesar de lo ventajoso e importante que resulta el uso de andadores, estos traen consigo ciertas desventajas que deben ser tenidas en cuenta.

- Los usuarios de este tipo de dispositivos a menudo requieren de asistencia para utilizar el dispositivo, en particular, para desplazarse al aire libre y a través de áreas desordenadas.
- Una gran porción de usuarios tiene dificultades para utilizarlos. Un gran número de personas que usan andadores han reportado problemas relacionados con el uso o el diseño.
- Resulta muy arriesgado el movimiento hacia atrás, por lo que se recomienda no intentarlo.
- A medida que se incrementa el número de usuarios, también lo hace el número de accidentes, siendo los más comunes los accidentes causados por caídas.

Por todo esto, surge la duda acerca de si son realmente seguros o no los andadores.

2.7. ANDADORES INTELIGENTES

Los andadores inteligentes surgen a partir de la necesidad de erradicar algunas de las desventajas presentes en los andadores convencionales, además de añadir diversas funcionalidades.

Estos dispositivos integran subsistemas de motores, actuadores y sensores que, en general, proporcionan un sistema de navegación y localización asistida que detecta los obstáculos y proporcionan una marcha estable y una fácil maniobrabilidad mediante la existencia de una interfaz que lee la información de la interacción del usuario. [\[20\]](#)

Además, se desarrollaron sistemas de frenado intuitivos y fáciles de manipular para evitar situaciones peligrosas, como la caída del usuario y la posibilidad de que el andador se aleje del usuario. También se alega que, como el andador inteligente tiene motores, ayudaría a las personas con marcha congelada y vacilación al empezar a caminar, dada la propulsión al movimiento. [\[21\]](#)

2.7.1.VENTAJAS

Diferentes funcionalidades pueden ser encontradas en los andadores inteligentes. Las principales diferencias recaen tanto en el diseño mecánico como electrónico, creando distintos andadores inteligentes para diversos tipos de pacientes. Entre estas funcionalidades se pueden encontrar:

- Guía y navegación en ambientes con obstáculos para pacientes que presentan problemas cognitivos, visuales y/o de coordinación.

- Máquina autónoma de entrenamiento para la rehabilitación, lo cual no requiere la asistencia directa del fisioterapeuta.
- Balance y estabilidad, evitando poner la integridad física del usuario en peligro.
- Integración de un control compartido, en el cual el dispositivo debe evaluar y corregir acciones basadas en la percepción de objetivos y necesidades del usuario, brindándole a este el control sobre la guía del dispositivo, lo que le otorga así un sentimiento de independencia.
- Guía manual y sistema de frenado, permitiendo que sea fácil de operar, intuitivo y eficaz previendo situaciones peligrosas como alcanzar gran aceleración en superficies descendentes, provocar caídas del usuario o la posibilidad de que el dispositivo salga del alcance del usuario.

2.7.2.DESVENTAJAS

A pesar del desarrollo actual alcanzado en el área de los andadores inteligentes, todavía estos se enfrentan a retos y problemas para lograr satisfacción y funcionamiento óptimo:

- En el ámbito del autonomismo y del control compartido que deben poseer los andadores inteligentes presentan inconvenientes al usar sensores en la parte trasera del andador sin tener impedimentos o ser bloqueados por el propio usuario. Esto causa que sea difícil asistir a dicho usuario cuando es requerido un movimiento hacia atrás, problema que también está presente en los andadores convencionales.
- Otra de las problemáticas, aún más desafiantes, es la adaptabilidad al usuario. La clave del problema reside en escoger, implementar y validar los algoritmos para lograr reconocer de la manera más acertada posible las intenciones del usuario, brindando siempre el confort y la sensación de control.
- Otro reto es la validación del sistema. Esto se debe a las escasas pruebas prácticas en pacientes reales con necesidades de asistencia al caminar, por lo que los resultados no se pueden considerar lo suficientemente válidos para demostrar la efectividad de los dispositivos.
- El alto costo de los andadores inteligentes constituye una barrera para su uso. A medida que aumentan las funcionalidades, que brindan más comodidades y un mayor confort, también se incrementa el costo del dispositivo. Debe tenerse en cuenta que el aumento de la comodidad a veces no es motivo suficiente para la adquisición de este tipo de andadores y los usuarios decantan por métodos alternativos, mayormente menos costosos.

3 DESARROLLO

En este capítulo se explicarán paso a paso los distintos procedimientos y métodos que se utilizaron para el desarrollo del presente proyecto. Se desglosará en distintas partes, enfocadas en la creación e implementación de los módulos que componen a ANDIN. Se comenzará con la descripción de los módulos básicos o necesarios para luego continuar con los más complejos o dependientes de otros módulos. Para finalizar se realizará un análisis económico de la implementación de todos los módulos mencionados.

Hay que tener en cuenta que el proceso de automatización se elaborará sobre un andador comercial, al que se le irán incorporando y añadiendo los módulos mencionados

3.1. EL MICROPROCESADOR

Uno de los componentes principales para la realización de este proyecto es el microprocesador, el que cumplirá la función de cerebro o cabeza pensante e intervendrá en cada uno de los procesos automatizados del andador. Para ello utilizamos el módulo o tarjeta de desarrollo denominada ESP32-WROOM-32. un módulo genérico que incluye Wi-Fi, Bluetooth (BT), Bluetooth de baja energía (BLE), y está dirigido a una amplia gama de aplicaciones, que van desde redes de sensores de baja potencia hasta tareas más complejas, como la codificación de voz, la transmisión de música y la decodificación de MP3.

En el datasheet (véase Anexo 1) de este módulo podemos encontrar varias características importantes para nuestro proyecto. El núcleo de este módulo lo compone el ESP32-D0WDQ6, este utiliza 2 CPUs que pueden ser controladas individualmente, cuyas frecuencias de reloj pueden ser ajustadas de 80 MHz hasta 240 MHz. Es posible también utilizar el modo de bajo consumo de las CPUs, las mismas permanecerán en modo de reposo solo monitorizando algún periférico a espera de algún cambio o cruce del umbral. Además, el ESP32 abarca un amplio set de periféricos, como son sensores capacitivos táctiles, sensores Hall, SPI de alta velocidad, UART, I²C, entre otros.

La memoria interna del microprocesador incluye:

- 448 KB de ROM (Read Only Memory) para el arranque y las funciones principales.
- 520 KB de SRAM (Static Random Access Memory) para datos e instrucciones.
- 8 KB de SRAM en el RTC (Real Time Clock), llamada memoria RTC FAST y puede ser usada para almacenar datos los cuales son utilizados por el CPU principal durante el arranque del RTC del modo Deep-Sleep.
- 8 KB de SRAM en el RTC, llamada memoria RTC LOW y puede ser utilizada por el coprocesador durante el modo Deep-Sleep.
- 1 Kbit de eFuse: 256 bits reservados para el sistema (dirección MAC y configuración del chip) y 768 bits reservados para aplicaciones de los usuarios, incluyendo el cifrado de la flash, y chip-ID.

El módulo ESP32 posee gran variedad de uso gracias a los muchos periféricos que puede emplear y sus características. Entre los más significativos con respecto a nuestro proyecto se encuentran los siguientes:

- 34 x GPIOs programables
- SAR (Successive Approximation Register) ADC de 12 bits hasta 18 canales
- 2 x DACs de 8 bits
- 10 x sensores táctiles capacitivos
- 4 x SPI
- 2 x I²C
- 3 x UART`
- CAN 2.0
- Motor PWM
- Sensor Hall

Para una mayor comprensión y fácil utilización del módulo es necesario conocer la distribución de los pines y observar en la Figura 3.1 las distintas funciones asociadas a ellos.

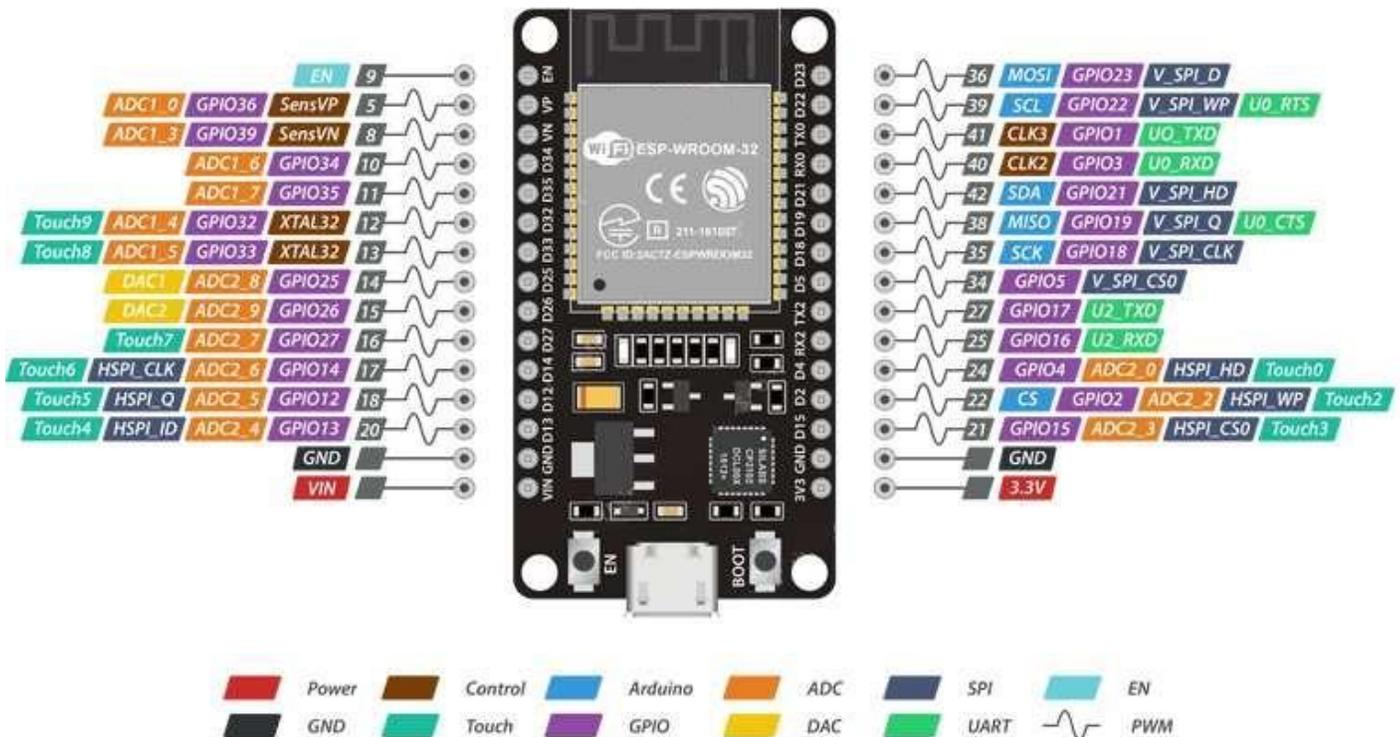


Figura 3.1 Pinout del módulo ESP32-WROOM-32

3.2. MOVILIDAD O MOTORIZACIÓN

Una de las funciones básicas y necesarias para alcanzar la automatización del andador es la capacidad de desplazamiento. Para ello es imprescindible el uso de motores eléctricos que propulsen y den la potencia necesaria para que este sea capaz de moverse.

Para comenzar con las pruebas iniciales se selecciona el motor de corriente directa EMG30. La Figura 3.2 muestra un motor de 12 V de alimentación equipado con encoders y una caja reductora de 30:1. Posee un capacitor entre los devanados del motor para la supresión de ruidos. Este motor es ideal para nuestra aplicación, además de poder brindarnos retroalimentación a través de los encoders.



Figura 3.2 Motor EMG30

Entre las características del EMG30 se encuentran:

- Voltaje nominal: 12 V
- Par nominal: 1.5 kg cm
- Velocidad nominal: 170 rpm
- Corriente nominal: 530 mA
- Velocidad sin carga: 216 rpm
- Corriente sin carga: 150 mA
- Cuenta del encoder por vuelta: 360

3.2.1. ANÁLISIS DE VELOCIDAD Y PAR

Una de las características relevantes es la velocidad de desplazamiento nominal a la cual se moverá el andador, para de esta manera poder compararla con la velocidad nominal

del motor. Para ello hay que tener en cuenta el diámetro de las ruedas del andador en las cuales se colocarán los motores y de este modo poder convertir de una velocidad lineal a una angular. Con este objetivo se hace uso de la siguiente ecuación:

$$V = \omega * R \quad (3.1)$$

Donde V es la velocidad lineal en m/s, ω es la velocidad angular en rad/s y R es el radio en metros.

Se realiza un estimado de la velocidad promedio con la que se desplazan habitualmente los usuarios del andador, considerando una velocidad nominal de 0.8 m/s aproximadamente. La rueda del andador utilizado posee 0.12 m de radio. Si de la ecuación (3.1) despejamos la ω y la convertimos en revoluciones por minuto, obtenemos la velocidad con la que deben girar las ruedas.

$$\omega = \frac{V}{R} = \frac{0.8 \text{ m/s}}{0.12 \text{ m}} * \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 63.66 \text{ rpm} \quad (3.2)$$

Como podemos observar la velocidad nominal de la rueda es de 63.66 rpm y la velocidad nominal del motor es igual a 170 rpm. Esto indica la necesidad de escalar dicha velocidad mediante la utilización de engranajes u otros mecanismos.

Gracias a las facilidades actuales de la impresión 3D se hace uso de engranajes diseñados con un software de diseño CAD: CATIA, e impresos con PLA Tough. Teniendo en cuenta las diferencias de las velocidades entre la rueda y el motor podemos deducir una relación de velocidad de 1:2, 1:3 o 1:4 entre los engranajes a utilizar.

Pero no solo utilizamos CATIA para el diseño de los engranajes, sino también para la realización de otras piezas que constituyen la base para poder acoplar los motores al andador. En la Figura 3.3 se puede observar los engranajes y en la Figura 3.4 las bases de los motores.

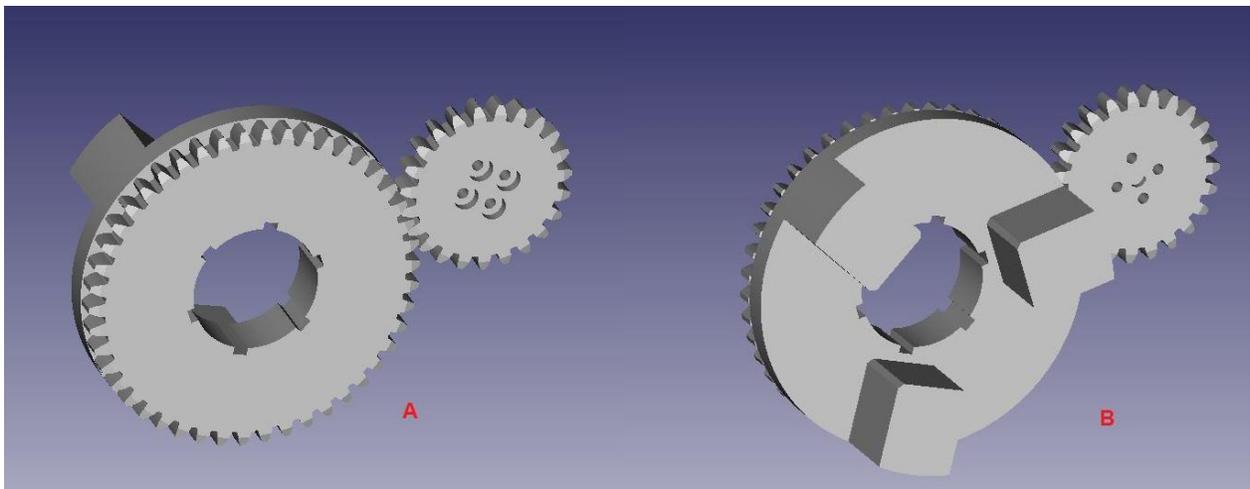


Figura 3.3 Engranajes A) Cara frontal B) Cara trasera

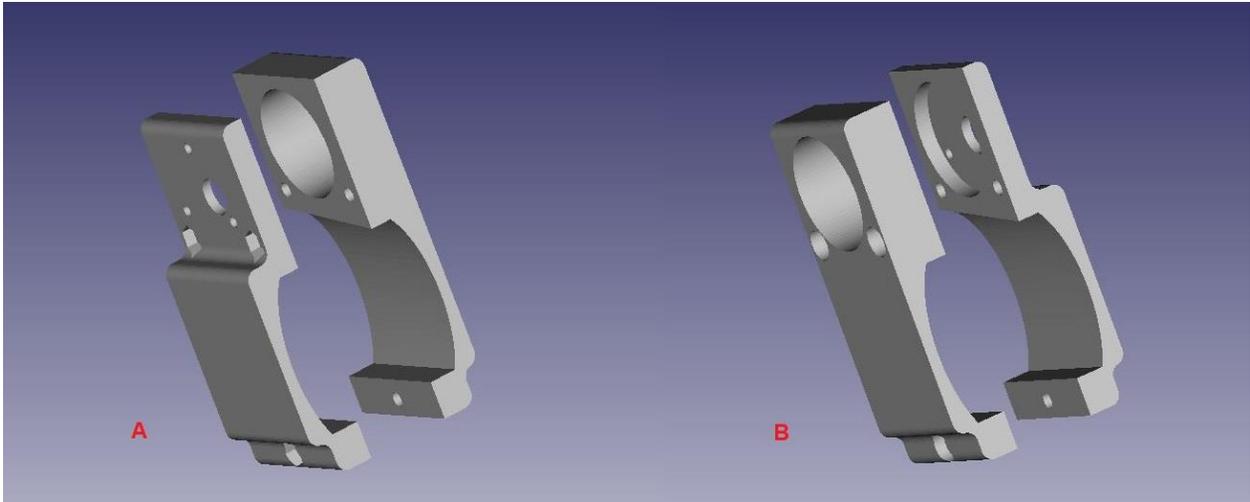


Figura 3.4 Base de los motores A) Lado Izquierdo B) Lado Derecho

Conforme a la selección de la relación de transformación correspondiente que tendrá el motor con respecto a la rueda, debemos determinar también el par necesario para poder mover el andador y así evaluar si el motor seleccionado es capaz o no de cumplir con su función.

El par se puede calcular según se plantea en la ecuación (3.3)

$$\tau = F * b \quad (3.3)$$

Donde τ es el par, F es la fuerza aplicada y b representa el brazo o radio.

A continuación, debemos determinar la fuerza máxima necesaria para que el andador se desplace. Esta es la fuerza de rozamiento durante su estado de reposo (ecuación (3.4)).

$$F = (\sin(\theta) + \mu * \cos(\theta)) * m * g \quad (3.4)$$

Donde, θ es el ángulo de inclinación de la superficie, μ es el coeficiente de rozamiento (0.01), m es la masa total a desplazar y g es la aceleración de la gravedad (9.8 m/s).

Tomando en consideración que el brazo no es más que la mitad del diámetro de la rueda, sustituimos la ecuación (3.4) en la ecuación (3.3) y obtenemos lo siguiente:

$$\tau = \mu * m * g * \frac{d}{2} \quad (3.5)$$

El rozamiento de las ruedas con el suelo es muy bajo, considerando la forma circular de estas, por lo que estimamos un coeficiente de 0.01. Asumimos la inclinación de la superficie de 0 grados. La masa total se compone de la suma de la masa del andador de 7.4 kg más la masa del motor de 0.2 kg. La gravedad la consideramos aproximadamente 9.8 m/s y el diámetro de la rueda es de 0.24 m. Con todos estos valores podemos determinar el torque necesario con la ecuación (3.5).

$$\tau = 0.01 * (7.4 + 0.2) * 9.8 * \frac{0.24}{2} = 0.089 \text{ Nm} \quad (3.6)$$

Este es el par necesario en el lado de la rueda para que el andador se pueda mover, pero debido al uso de un sistema de engranajes para transmitir la potencia también hay que tener en cuenta dicha relación de transformación. Analizando las opciones anteriores determinamos el par con la relación de transformación más pesimista, 1:2, y obtenemos un par de 0.0445 Nm en el lado del motor. También hay que tener en cuenta que usaremos 2 motores para la movilidad del andador, por lo que el par necesario se compartiría entre ellos, siendo el par final de 0.02225 Nm.

Analizando las características del motor observamos que este consigue generar un par de 1.5 kg cm, que es equivalente a 0.147 Nm, pudiéndose observar por tanto que el motor es capaz de producir el par necesario para que el andador se mueva sobre una superficie horizontal.

Rehaciendo los cálculos para distintos ángulos de inclinación podemos determinar hasta qué punto es capaz el motor de producir el par necesario.

Tabla 2 Par necesario según ángulo de inclinación

Ángulo de inclinación	Par (Nm)
0°	0.02
1°	0.06
2°	0.10
3°	0.14
4°	0.18
5°	0.22

Podemos ver como los motores seleccionados serían capaz de mover el andador solo a través de una superficie con una inclinación de 3° máximo. Por lo que sería necesario la utilización de un motor más potente para poder sortear superficies con mayor pendiente.

3.2.2.PROGRAMACIÓN DE LA RUTINA

Para implementar la motorización básica de nuestro andador utilizaremos varios componentes: módulo ESP32, puente H L298N, motor EMG30 y baterías de 12 V. estos elementos se ubicarán de la manera que se muestra en la figura del circuito (véase Anexo 2).

En este esquema es posible alimentar el ESP32 de manera independiente o se puede utilizar el mismo puente H, mediante la conexión de ambos GND y la entrada Vin del ESP32 a los 5 V del puente H.

Después de realizar el conexionado se procede a programar la rutina que hará posible el arranque o paro de los motores. Pero antes, es necesario tener una visión de las

funciones que debe efectuar el andador en dependencia de la interacción del usuario. Este último tiene las posibilidades de poner en marcha el andador y de ajustar su velocidad, por lo que se moverá según la velocidad predefinida y dependerá también de si el usuario sostiene o no ambos asideros. Lo anteriormente explicado se puede observar en la Figura 3.5.

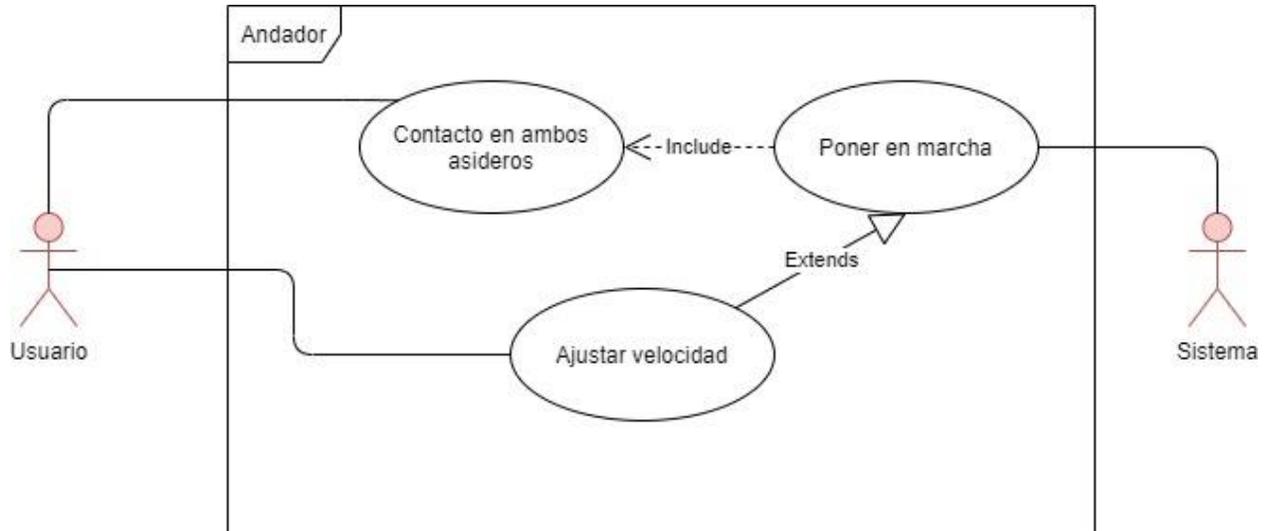


Figura 3.5 Diagrama de casos de uso de motorización básica

Después de analizar el diagrama de casos de uso procedemos a la realización de la rutina del programa que hará posible esta interacción del usuario con el andador.

En un comienzo se configuran los distintos pines y los motores PWM del ESP32, asociándolos a sus respectivos pines. Luego se toma la lectura analógica del potenciómetro para determinar la velocidad deseada, así se genera una señal PWM la cual se enviará hacia el puente H. Este entregará la alimentación necesaria a los motores para que giren a la velocidad deseada.

Para evitar el régimen continuo de los motores y que estos giren constantemente a la velocidad establecida por el potenciómetro, se han utilizado dos sensores táctiles capacitivos, los cuales han sido ubicados en los asideros del andador, permitiendo así la detección de la disposición del usuario para usar el andador siempre y cuando este haga contacto con ambos sensores. Este procedimiento también sirve como medida de seguridad; en caso de que se escape de las manos el andador, este parará y se mantendrá a la espera de que se restablezca el contacto en ambos asideros. El diagrama de flujo se puede observar en la Figura 3.6.

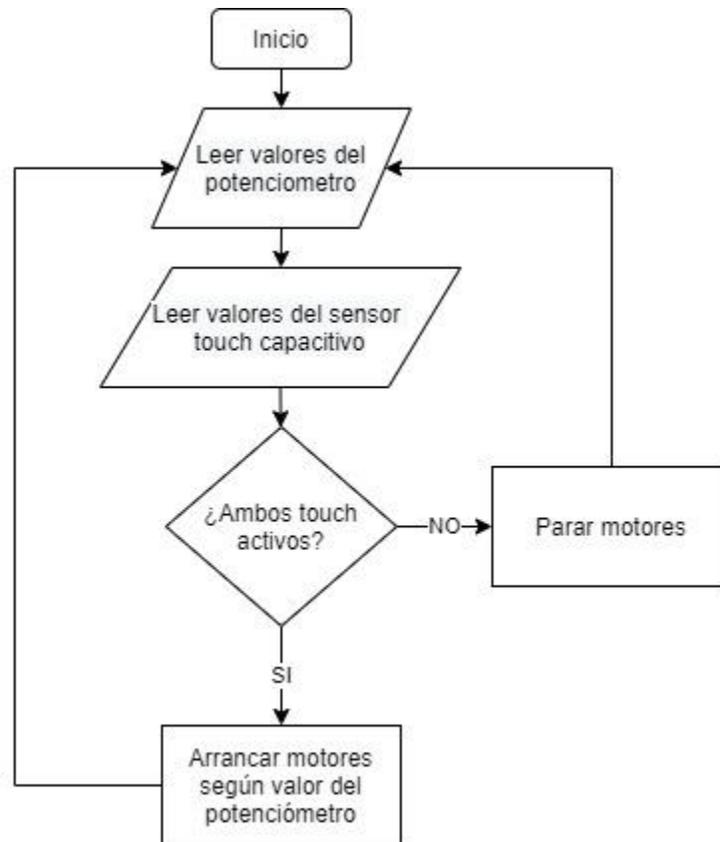


Figura 3.6 Diagrama de flujo de la motorización básica

Es necesario comprobar si la lectura analógica obtenida del potenciómetro se tiene que escalar con respecto a los valores del PWM. Esto dependerá de los bits con los que se recibe la señal y los bits a los que sea configurado el PWM. En nuestro caso, los valores analógicos leídos del potenciómetro alcanzan un máximo de 4095, o sea, los 12 bits; y como la configuración del PWM también la hicimos a 12 bits no resulta obligatorio escalar los valores.

3.3. SISTEMA DE SEGUIMIENTO

La función de seguimiento y predicción de la posición del usuario, constituye una función particular en nuestro proyecto. Esto permitirá el uso del andador sin necesidad de realizar fuerza de empuje para lograr avanzar. De esta manera en situaciones como pendientes ascendentes, el usuario solo tendrá que continuar la marcha para que el andador se ajuste a su velocidad y no será necesario un esfuerzo extra.

Igual puede constituir una herramienta de seguridad, poniendo límite a la distancia a la que se pueda encontrar el usuario. Cuando este límite sea superado el andador se detendrá en espera de que se vuelva a detectar al usuario dentro de la distancia requerida.

Para la realización de este módulo se utilizarán sensores de ultrasonido, en concreto los HC-SR04. Estos sensores son capaces de determinar la distancia entre rangos desde 2 a 400cm. Su operación no se ve afectada por la luz solar ni por materiales oscuros, pero

puede presentar dificultades al medir superficies acústicamente suaves, como pueden ser prendas de vestir. Por lo que se realizaron tests para su fiabilidad con la detección de usuarios.

Entre sus características se encuentran:

- Alimentación: 5 V
- Corriente en reposo: < 2mA
- Corriente de Operación: 15 mA
- Angulo de efecto: < 15°
- Resolución: 0.3 cm
- Rango: 2 cm-400cm

Como se puede apreciar a menos de 2 cm de distancia el sensor devuelve falsas medidas. Ventajosamente en este proyecto no se necesitan medidas tan cercanas, dado que, la distancia promedio de los sensores al usuario será de 35 cm aproximadamente.

Para realizar la medición de la distancia, se realiza un programa en el que se utiliza una subrutina solamente para medir dicha distancia. Para ello, partiendo del funcionamiento de los sensores de ultrasonido, se conoce que la velocidad del sonido es de 343 m/s aproximadamente. Puesto que se quiere medir la distancia en centímetros, se transforman las unidades de medida:

$$343 \frac{m}{s} * 100 \frac{cm}{m} * \frac{1}{1000000} \frac{s}{\mu s} = \frac{1}{29.2} \frac{cm}{\mu s} \quad (3.7)$$

Es decir, el sonido tarda 29.2 μs en recorrer 1 cm. Por tanto, podemos obtener la distancia partiendo del tiempo entre la emisión y la recepción del pulso. Es importante dividir la distancia obtenida entre 2, pues el tiempo obtenido es lo que tarda en llegar a la superficie objetivo y regresar.

$$Distancia (cm) = \frac{Tiempo (\mu s)}{29.2 * 2} \quad (3.8)$$

El funcionamiento de este módulo se puede ver en la Figura 3.7. El usuario solo tendrá que alejarse o acercarse al andador para que este de manera automática ajuste su velocidad con el objetivo de mantener una distancia constante al usuario. Esta función se ejecutará siempre y cuando exista contacto en ambos asideros

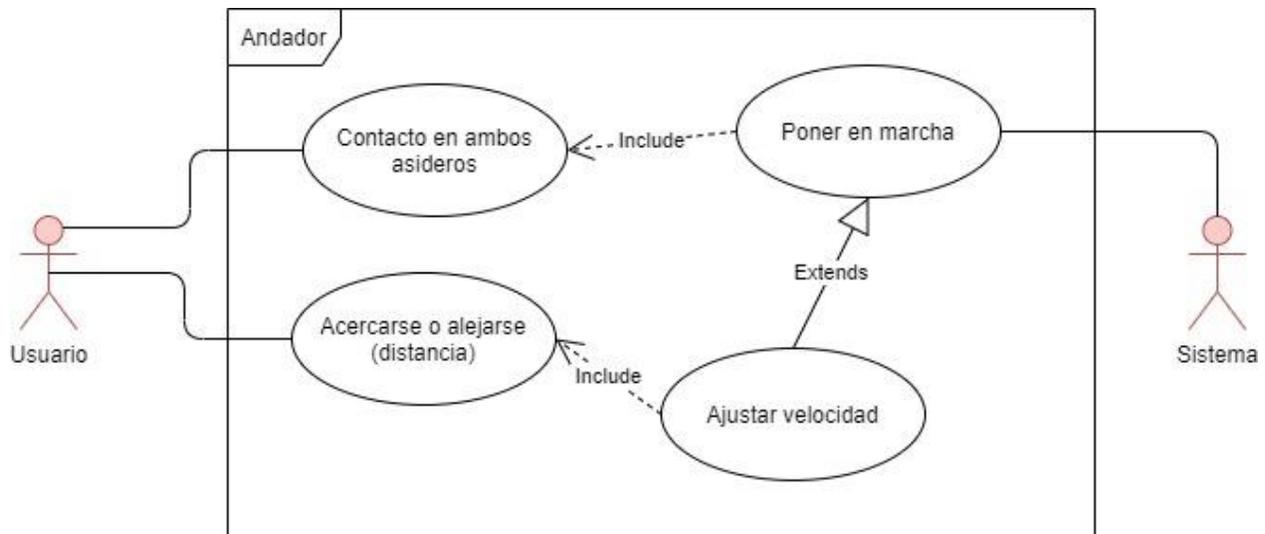


Figura 3.7 Diagrama de caso de uso del sistema de seguimiento

En la Figura 3.8 se puede observar el diagrama de flujo del programa para realizar el seguimiento del usuario. Para mejorar la precisión al estimar la distancia se ha optado por usar dos sensores en vez de uno solo para de esta manera promediar ambas distancias y poder obtener un valor mucho más exacto.

En este caso se mantienen los sensores táctiles originalmente utilizados en el programa de la motorización básica del andador. La diferencia consiste en que no hay necesidad de utilizar el potenciómetro esta vez, pues la velocidad que debe alcanzar el andador dependerá de la distancia a que se encuentre del usuario. Por lo tanto, la distancia será mapeada o escalada de 0-50 a 4095-0. Esto impone dos aspectos, 1) la velocidad del andador, cuanto más cerca, menos rápido y mientras menos cerca más rápido, 2) que la distancia máxima a la que se puede separar el usuario será de 50 cm, ya que a una distancia mayor que éste se parará.

Procedemos a montar el circuito para poder realizar las medidas y probar nuestro programa (véase Anexo 3)

Anteriormente se mencionaba los posibles problemas que pueden aparecer en superficies suaves, como es el caso de las ropas. Al realizar las primeras pruebas con el sensor en el andador se obtuvieron datos de distancia como los que se muestran en la Figura 3.9.

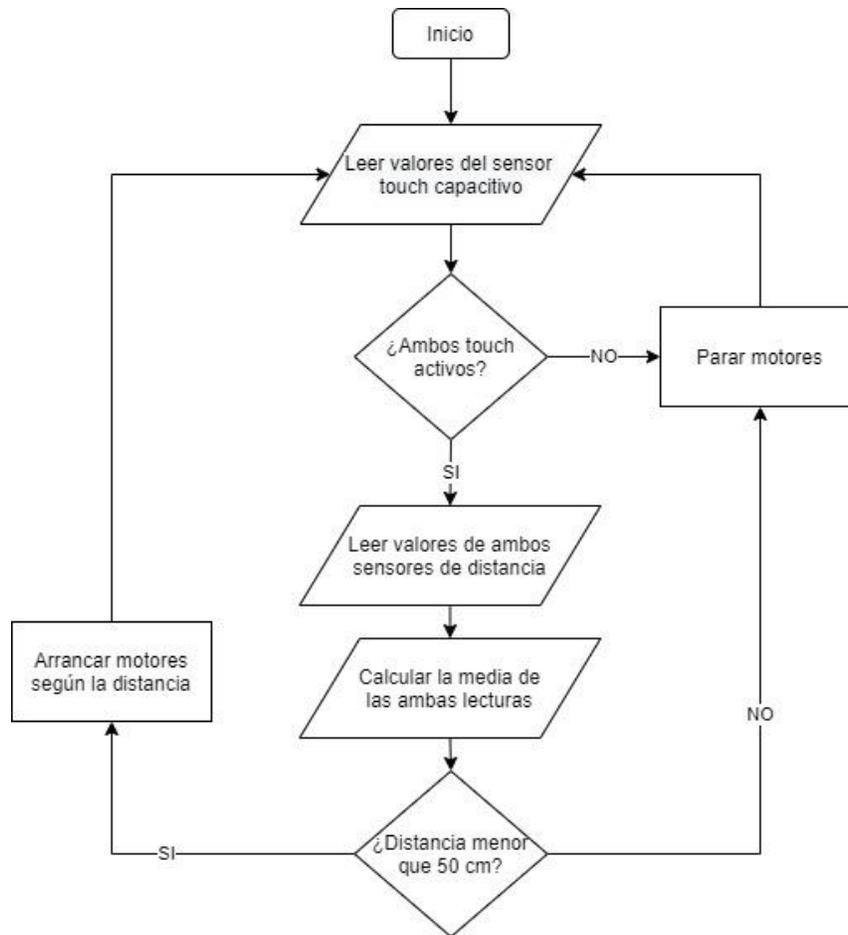


Figura 3.8 Diagrama de flujo del sistema de seguimiento

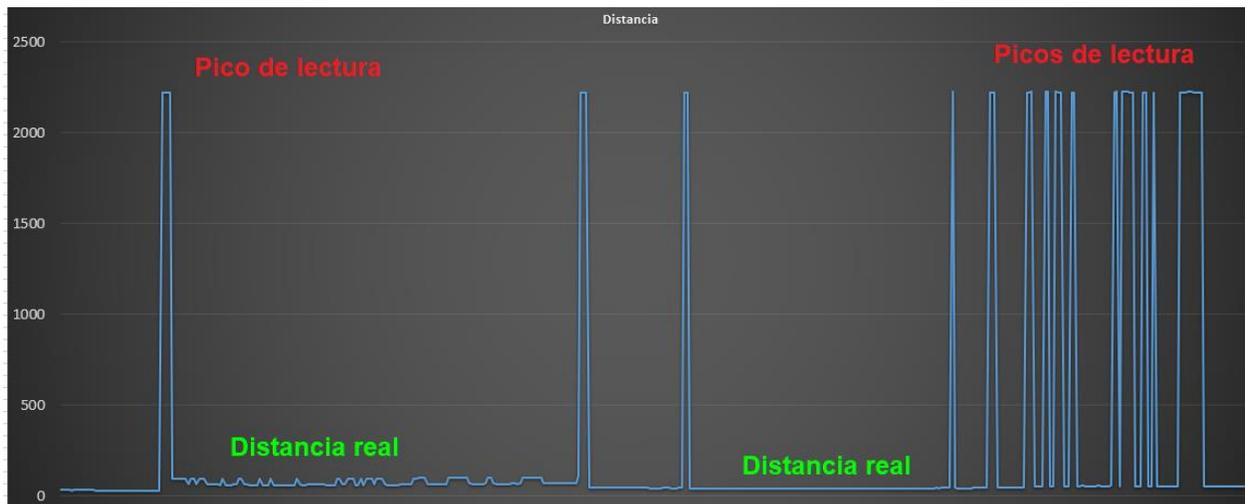


Figura 3.9 Distancia medida con el sensor (Programa básico)

Los picos de lectura que se pueden observar en la gráfica son los casos en los que la señal de sonido enviada por el transmisor no rebota correctamente sobre la superficie de la ropa, por lo que no regresa al receptor, devolviendo de esta manera esos valores tan

elevados de distancia. Mientras tanto se puede apreciar la distancia real del usuario, la misma tiende a mantenerse relativamente constante con valores de distancia muy bajos, entre 25 y 55 cm, con respecto a los picos.

Analizando lo anterior surge la necesidad de eliminar esas medidas falsas para lograr obtener constantemente la medida real para con ello lograr utilizarla correctamente en dirección a nuestro objetivo. Examinando una muestra de datos obtenidos de la medida se puede apreciar que este cambio de la medida real hacia el pico se produce tan solo de una iteración a la siguiente:

Tabla 3 Sección de datos medidos

Número de Medida	Distancia (cm)
435	42
436	42
437	42
438	43
439	2224
440	2224
441	2223
442	46
443	44
444	44
445	44
446	44
447	44
448	45
449	45
450	45
451	45
452	47
453	2224
454	2224
455	2225
456	49
457	48
458	49

Por lo que solo resta verificar entre una medida y la siguiente para realizar una comparación entre ellas y determinar si es mucho más grande que la anterior. En caso de ser así mantenemos la distancia anterior como distancia actual medida y de esta forma evitaremos los picos que teníamos antes. La Figura 3.10 muestra las distancias obtenidas luego de realizar este cambio en el programa.



Figura 3.10 Distancia medida con el sensor (eliminación de picos)

Como se puede notar, los picos que se presentaban anteriormente se han podido eliminar y de tal modo se han obtenido unos valores mejores para su uso. Aun así todavía la obtención de la señal no es la óptima teniendo en cuenta el propósito de medir la distancia y de esta manera determinar la velocidad de los motores.

Para solucionar este problema utilizamos un Filtro Kalman con la intención de linealizar la medida obtenida. Para ello hacemos uso de la librería “simpleFilterKalman” la cual implementa un filtro de Kalman básico para modelos unidimensionales formado por cadenas de valores individuales como pueden ser las medidas recibidas por distintos sensores, entre los que se encuentra nuestro sensor ultrasónico. El efecto causado por este filtro se puede ver en la Figura 3.11.

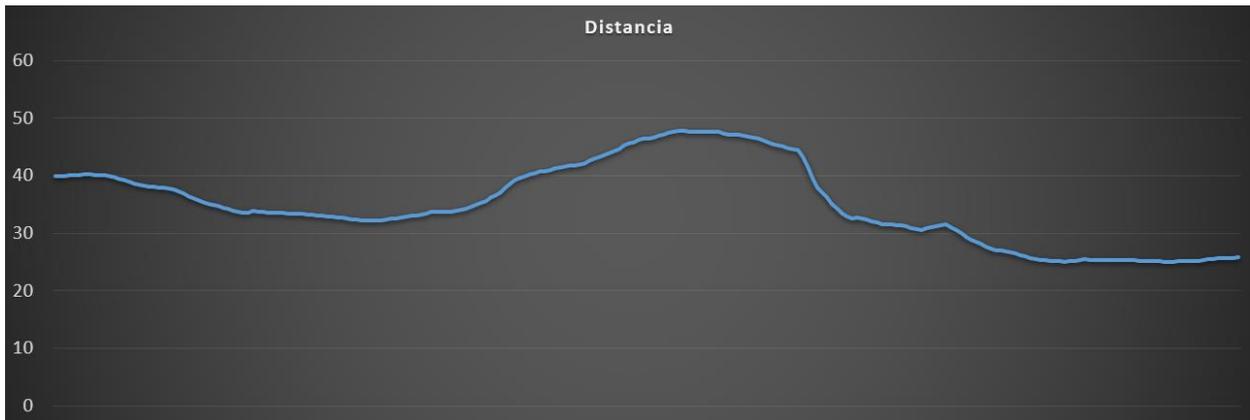


Figura 3.11 Distancia medida con el sensor (Filtro Kalman)

Ya con una medida bastante óptima se puede utilizar la distancia para indicarle a los motores qué velocidad deben alcanzar dependiendo de la separación a la que se encuentre el usuario.

3.4. TELEOPERACIÓN

El objetivo principal a alcanzar mediante la teleoperación es la de desplazamiento automatizado del andador desde una distancia determinada hasta la posición del usuario. Para ello se pueden utilizar varios métodos. A continuación, se explicarán los que contemplamos en el presente proyecto.

3.4.1. IMPLEMENTACIÓN BÁSICA DE UN SISTEMA DE TELEOPERACIÓN MEDIANTE MÓVIL

Uno de estos métodos consistió en el uso de un servidor web HTML guardado en el ESP32, al cual se puede acceder de manera inalámbrica con algún dispositivo móvil vía conexión Wi-fi. Este servidor web contiene un mando/Joystick a través del cual se le puede indicar al andador la dirección y la velocidad que se desee, para guiarlo de manera remota hasta el destino deseado.

Uno de los primeros pasos es tener la herramienta disponible para poder guardar el servidor web en el Sistema de Archivos Flash de Interfaz Periférica en Serie (SPIFFS) del ESP32. Para ello es necesaria la instalación del plugin “ESP32 Filesystem Uploader” en el IDE de Arduino. El servidor contendrá un Joystick, como se muestra en la Figura 3.12, para que el usuario pueda determinar el ángulo de giro y la velocidad del andador en dependencia de la posición en la que se encuentre el mencionado mando/Joystick. Estos valores de ángulo y velocidad son enviados al ESP32 a través del WebSocket. El circuito a utilizar es el mismo que en la motorización básica (véase Anexo 2).

En el programa principal inicializamos el Access Point, el servidor web y el WebSocket, este último también lo asociamos a una función determinada en caso de ocurrir algún evento a través del mismo, además de configurar todos los pines en sus funciones correspondiente.

En el loop del programa activamos el WebSocket para recibir los datos de velocidad y ángulo enviados desde el servidor web. Con estos dos valores se calcula la velocidad y el sentido en el que deben girar ambos motores para que el andador realice el desplazamiento deseado.



Figura 3.12 Servidor Web HTML

A tal fin hay que analizar qué debe hacer cada motor en relación con el ángulo recibido, lo que se puede apreciar en la Tabla 4. La velocidad recibida no pasa de ser algo más que un factor que indica la potencia de giro de los motores.

Tabla 4 Comportamiento del motor según el ángulo de incidencia

Ángulo recibido (grados)	motor derecho	motor izquierdo
0	Retroceder	Avanzar
45	Parar	Avanzar
90	Avanzar	Avanzar
135	Avanzar	Parar
180	Avanzar	Retroceder
-180	Avanzar	Retroceder
-135	Parar	Retroceder
-90	Retroceder	Retroceder
-45	Retroceder	Parar
-0	Retroceder	Avanzar

Para lograr que esto suceda utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$SetPoint(Motor Derecho) = velocidad * \sin(\text{ángulo} - 45^\circ) \quad (3.9)$$

$$SetPoint(Motor Izquierdo) = velocidad * \cos(\text{ángulo} - 45^\circ) \quad (3.10)$$

De esta manera la tabla anterior quedaría de la siguiente forma:

Tabla 5 Factor de marcha del motor según el ángulo

Ángulo recibido (grados)	motor derecho sin(ángulo)	motor izquierdo cos(Ángulo)
0	-0.707	0.707
45	0	1
90	0.707	0.707
135	1	0
180	0.707	-0.707
-180	0.707	-0.707
-135	0	-1
-90	-0.707	-0.707
-45	-1	0
-0	-0.707	0.707

Con estos valores multiplicados por la velocidad recibida, obtenemos así las velocidades y el sentido de giro de los motores.

Para realizar el programa partimos del código de la motorización básica, usando la lectura del potenciómetro para determinar la velocidad cuando se establece contacto en ambos sensores capacitivos y, usando los datos obtenidos a través del WebSocket en el caso de que no exista contacto. Podemos observar el diagrama de casos de uso en la Figura 3.13 y en la Figura 3.14 se puede apreciar el diagrama de flujo en el que se basa el programa de teleoperación con el uso de servidor Web.

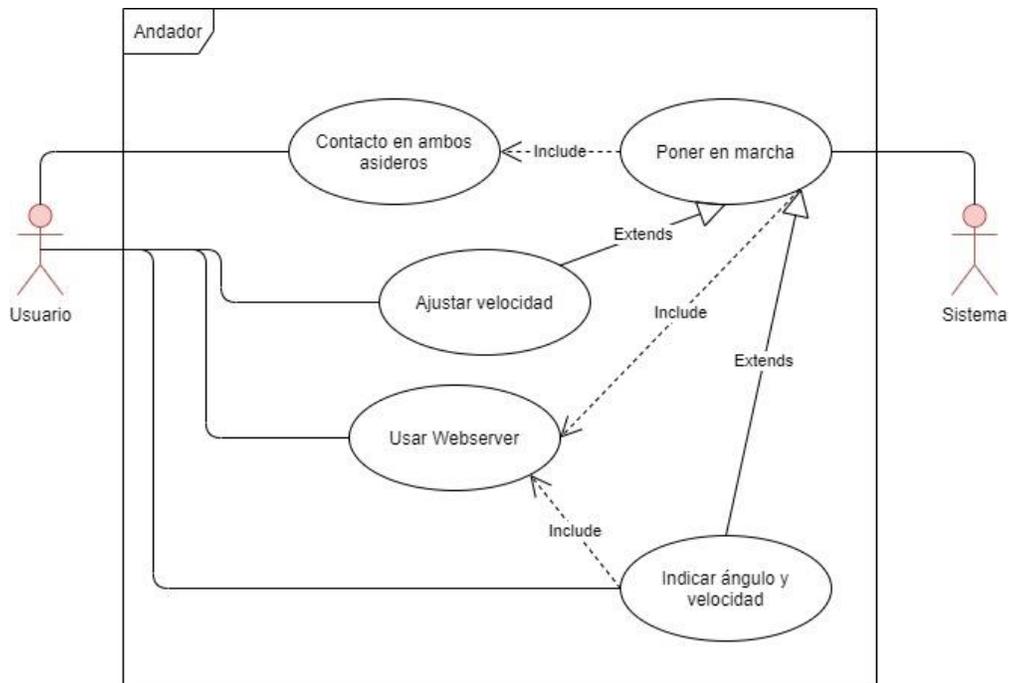


Figura 3.13 Diagrama de uso de teleoperación con servidor Web

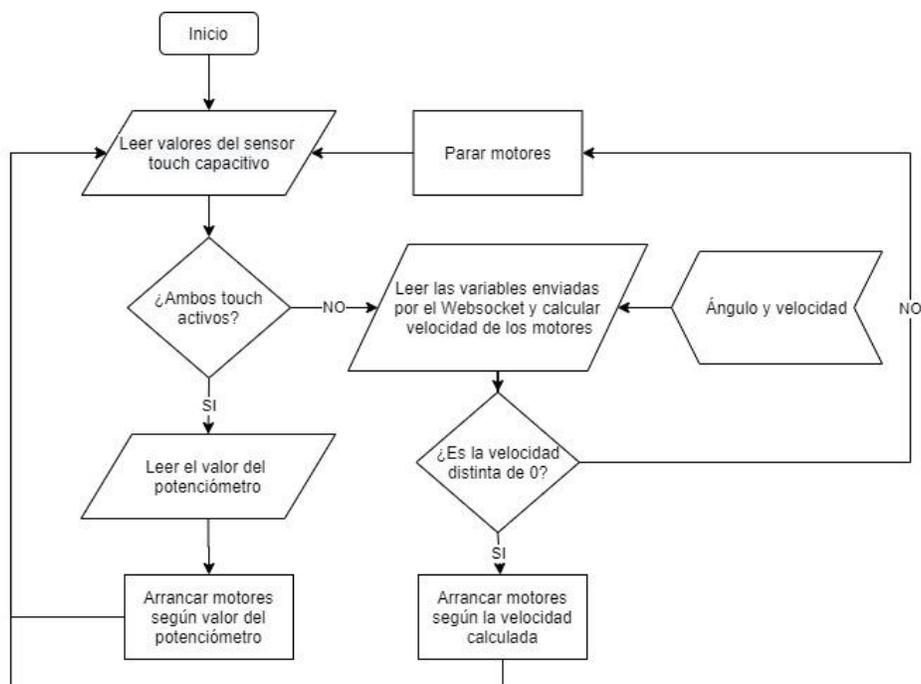


Figura 3.14 Diagrama de flujo de teleoperación con servidor Web

3.4.2.DETECCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO MEDIANTE MICRÓFONOS

Otra idea para la teleoperación fue determinar la posición del usuario mediante sonido para que el andador, de manera autónoma, se dirigiera hacia dicha dirección. La Figura 3.15 muestra el funcionamiento de este módulo.

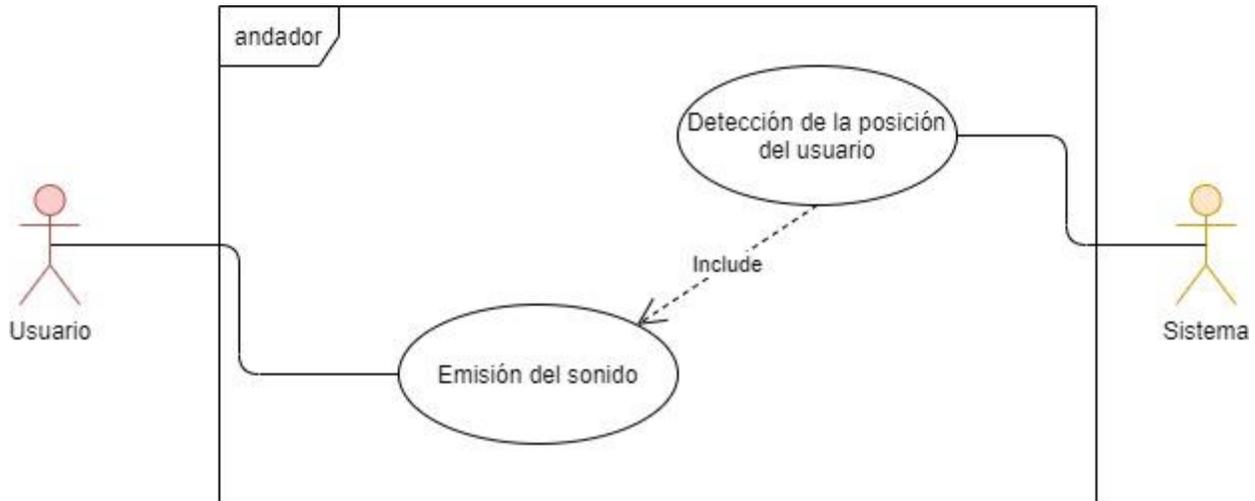


Figura 3.15 Diagrama de caso de uso de detección de la posición

Para lograr esto se utilizarán dos módulos de sonido KY-038 para lograr recibir la señal de sonido. [22]

El sensor tiene tres componentes que conforman la tarjeta del circuito. Primero, la unidad del sensor en la parte delantera del módulo, la cual mide el área física a su alrededor y manda una señal analógica a la segunda unidad, el amplificador. Este amplifica la señal de acuerdo con el valor de la resistencia del potenciómetro y la envía a la salida analógica del módulo. El tercer componente es un comparador que conmuta la salida digital y el LED indicador si la señal pasa por un valor específico. Se puede controlar la sensibilidad ajustando el potenciómetro.

Hay que tener en consideración que la señal al pasar por el amplificador es invertida, lo que significa que, al medir un valor alto, se mostrará por la salida analógica un valor bajo de voltaje.

Este sensor solo indica señales relativas y no absolutas. Eso quiere decir que se establece un valor máximo ante una situación ambiente dada, y se recibirá una señal si la medida excede este valor máximo.

Para comenzar debemos realizar pruebas con el sensor de sonido para calcular la distancia máxima de detección, en nuestro caso haremos uso de una palmada. El programa básico realizará una lectura en el pin analógico del módulo, y luego convertirá esa lectura a valores de voltaje. Como alimentamos nuestro módulo a 3.3V y la resolución de la lectura analógica es de 12 bits la conversión se realiza como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Medida(V) = medida_analógica * \left(\frac{3.3 V}{4095}\right) \quad (3.11)$$

El potenciómetro es regulado para que la señal analógica se encuentre en un valor intermedio entre su máximo y su mínimo, es decir, entre 0 y 3.3V, por lo que sería un valor de 1.6 V.

En la Figura 3.16 se muestra el comportamiento del sensor a una distancia cercana, en un ambiente controlado sin fuertes ruidos externos y luego, en la Figura 3.17, con la presencia de algunos aplausos.

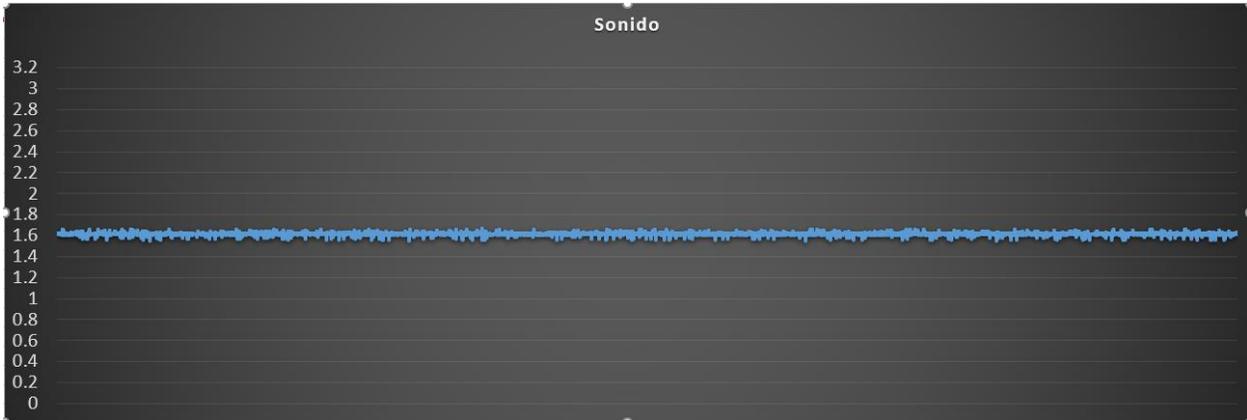


Figura 3.16 Sonido sin ruidos externos

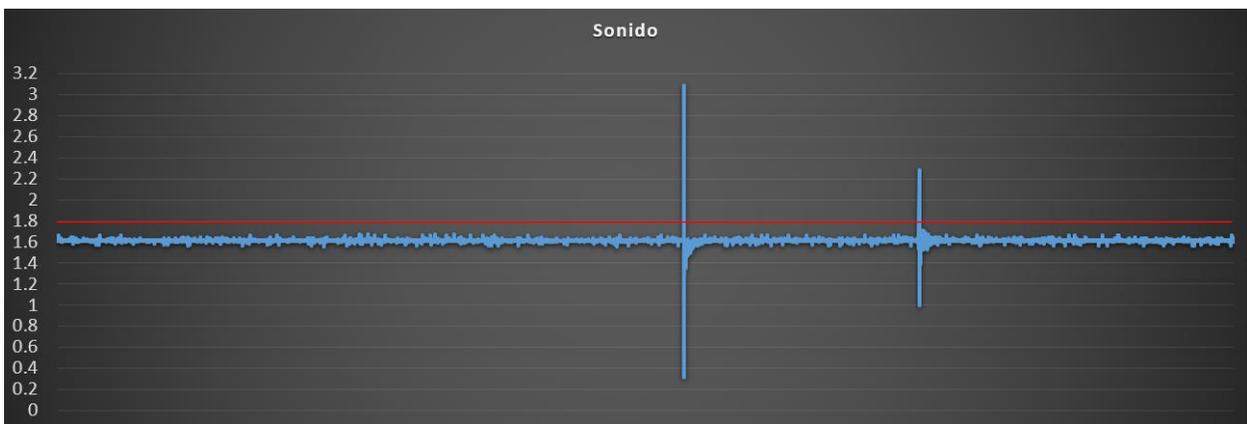


Figura 3.17 Sonido con aplausos

Se puede apreciar el cambio en la onda cuando se producen las dos palmadas, el valor pico excede los 1.8 V, por lo que podemos tomar este valor como umbral a superar para determinar la detección o no de una palmada. Para asegurarnos de nuestra decisión hacemos una prueba a una distancia de 3m del micrófono; hay que tener en cuenta que además de la distancia la intensidad de la palmada determina la detección o no de esta. En la Figura 3.18 se puede ver como disminuye significativamente el valor pico, pero de igual forma supera los 1.8 V



Figura 3.18 Sonido con aplausos a 3m de distancia

Luego procedemos a realizar el programa que detecte el aplauso de manera sencilla como se muestra en la Figura 3.19. Si el valor del sonido es mayor que 1.8 V, mostramos por el puerto serie un indicador de aplausos.

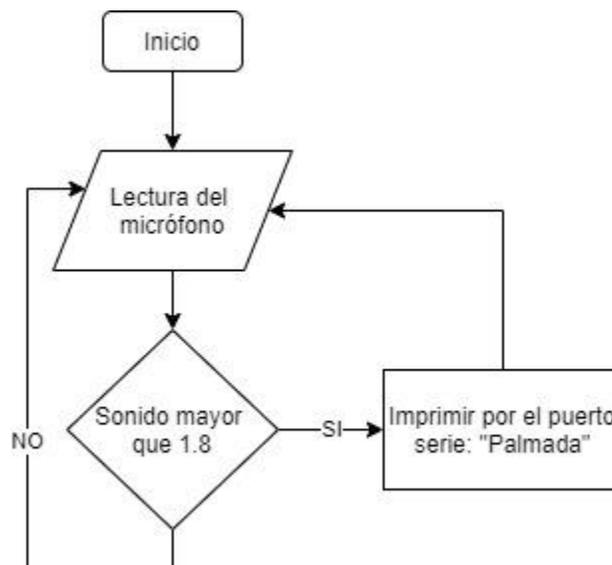


Figura 3.19 Diagrama de flujo para detección de palmadas

Al usar el programa logramos la detección del aplauso, pero aparece un problema: cómo se puede observar en la Figura 3.20, con la acción de un solo aplauso se detectan varios. Esto se debe a que la onda no sobrepasa el umbral en una sola instancia de tiempo, sino que tarda un tiempo determinado en establecerse nuevamente dependiendo de la duración de la propia palmada. En este tiempo el programa repite su ciclo varias veces por lo que nos devuelve varias instancias de detección del aplauso, aproximadamente entre unas 9 o 13 veces. Para solucionar dicho problema es indicado incorporar en el código un tiempo de espera, que debe ser menor que la diferencia de tiempo entre un aplauso y el siguiente, nosotros utilizamos 100 ms con la consecuencia de que cuando se realice la detección del aplauso, el programa esperara esos 100 ms para poder detectar nuevamente un próximo aplauso. De esta manera evitamos esos rebotes indeseados.

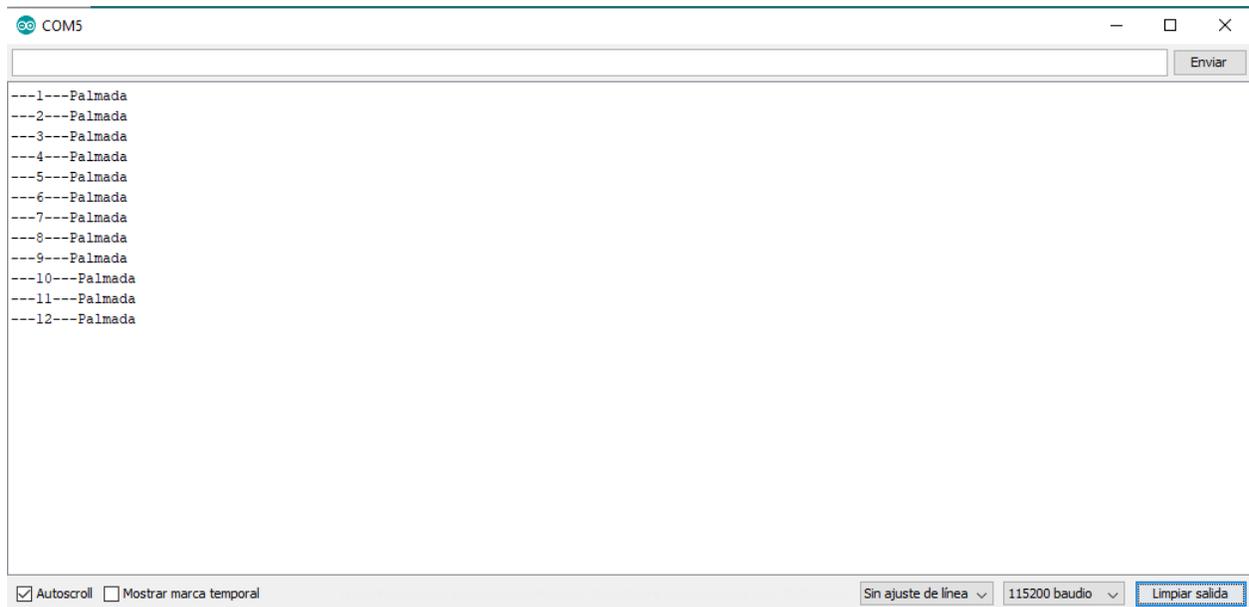


Figura 3.20 Detección de un aplauso

Ya con este problema solucionado podemos pasar al objetivo principal de esta aplicación que consiste en determinar el ángulo de procedencia del sonido. Para ello hacemos uso de dos micrófonos ubicados a una distancia determinada (Figura 3.21) estableciendo un eje de referencia, como se aprecia en la Figura 3.22. La conexión del circuito se ejecuta según los planos realizados (véase Anexo 4) haciendo uso de un servo motor para simular el movimiento.

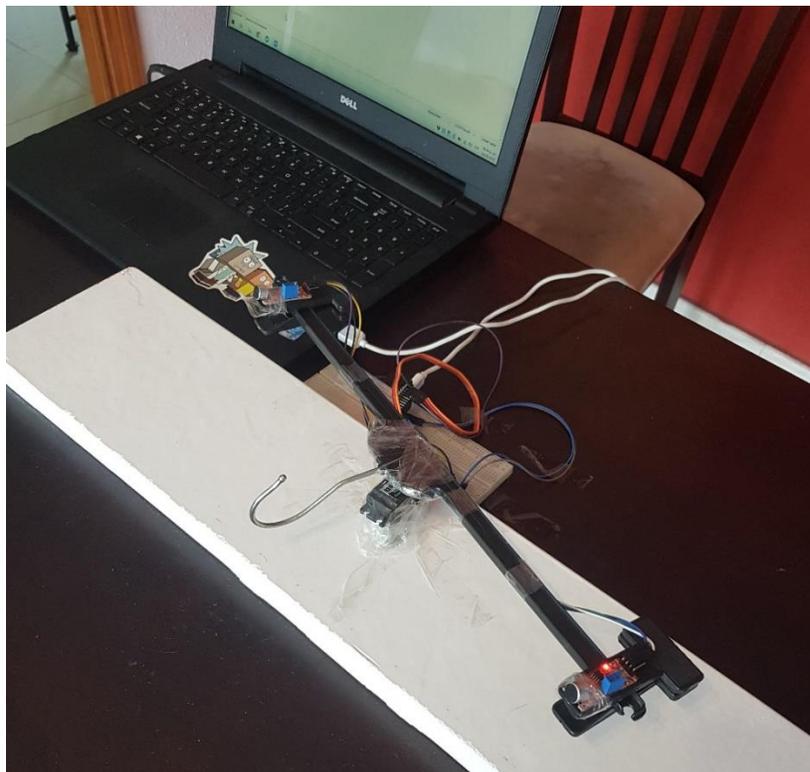


Figura 3.21 Maqueta prototipo de detección de sonido

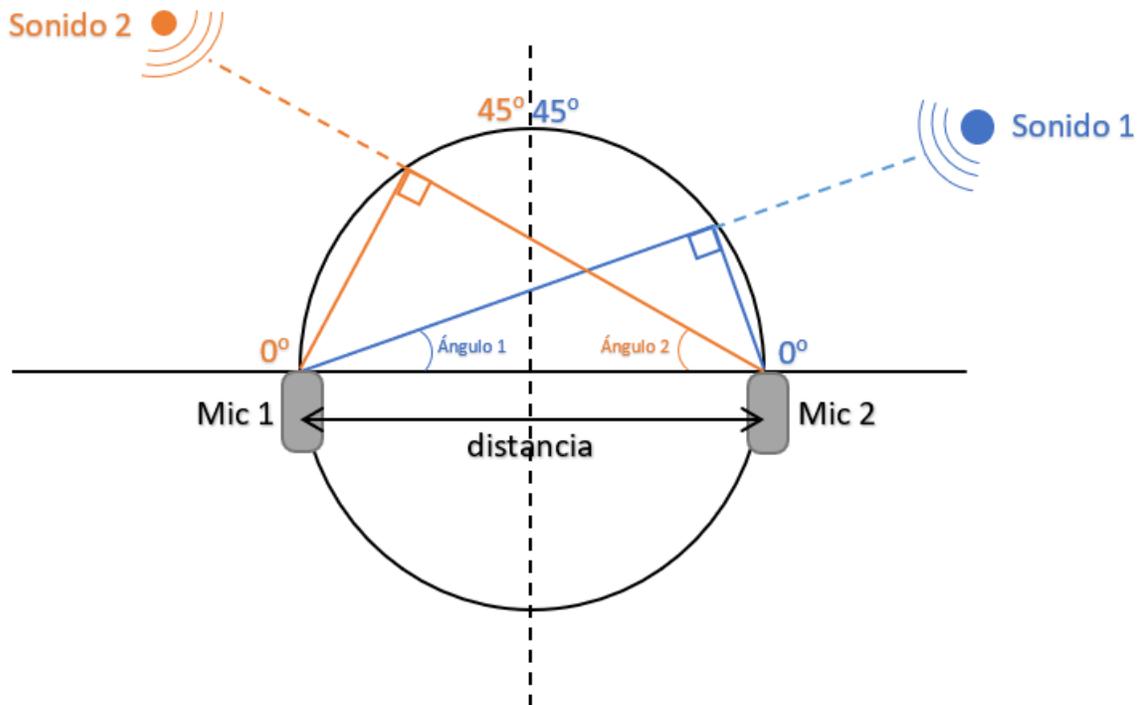


Figura 3.22 Disposición de los ejes de referencia según el ángulo de procedencia del sonido

Teniendo en cuenta la distancia a la que se encuentran estos micrófonos y la velocidad a la que se desplaza el sonido, podemos determinar el ángulo de procedencia calculando la diferencia de tiempo que tarda en llegar de un micrófono a otro mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Ángulo (rad)} = \sin^{-1}\left(\frac{td * v_s}{\text{distancia}}\right) \quad (3.12)$$

Donde *Ángulo* es el ángulo de procedencia del sonido, *td* es la diferencia de tiempo que tarda en llegar la onda sonora de un micrófono a otro, v_s es la velocidad del sonido en el aire, y *distancia* es la distancia a la que se encuentran ambos micrófonos.

Para conocer *td* necesitamos obtener los tiempos de llegada a cada micrófono de manera independiente. Como base utilizamos el programa previo mediante el cual se detectaba la palmada. Nuestro programa principal (Figura 3.23) será muy sencillo y utilizará dos funciones importantes, una para determinar *td* (Figura 3.24) y la otra para calcular el ángulo (Figura 3.25).

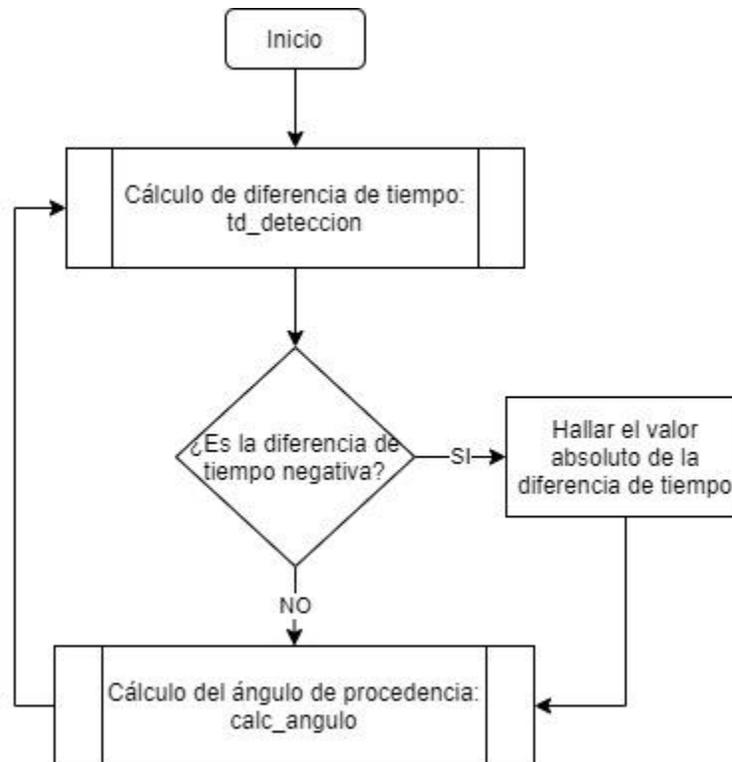


Figura 3.23 Diagrama de flujo del programa para detección de la posición del usuario

Para determinar la diferencia de tiempo (td) se crea la función $td_deteccion()$. Esta función comienza inicializando a 0 las variables de tiempo de cada micrófono, $td1$ y $td2$. Luego detecta la activación de uno de los micrófonos y establece su tiempo de activación $td1$, mientras se espera a la activación del segundo micrófono para de igual manera establecer su tiempo de activación $td2$. Con estos dos valores solo queda determinar la diferencia entre $td1$ y $td2$ para obtener td .

Para calcular el ángulo hacemos uso de la función $calc_angulo(td, dist)$. Esta función requiere la diferencia de tiempo entre la activación de ambos micrófonos y la distancia en metros a la que se encuentran, para poder calcular el ángulo utilizando la ecuación (3.12).

Implementando los anteriores diagramas de flujo podemos obtener el ángulo de procedencia de un aplauso, y de esta forma también identificar la posición del usuario en relación con el andador

Con esta aplicación solamente se determina el ángulo de procedencia del sonido, por lo que en caso de encontrarse obstáculos en la dirección de dicha posición el andador no será capaz de llegar al objetivo. Por tanto, resulta inevitable combinar esta aplicación en conjunto con algún sistema de evasión de objetos. De este modo el andador será capaz de rodar el obstáculo que detecte en el camino hacia el objetivo.

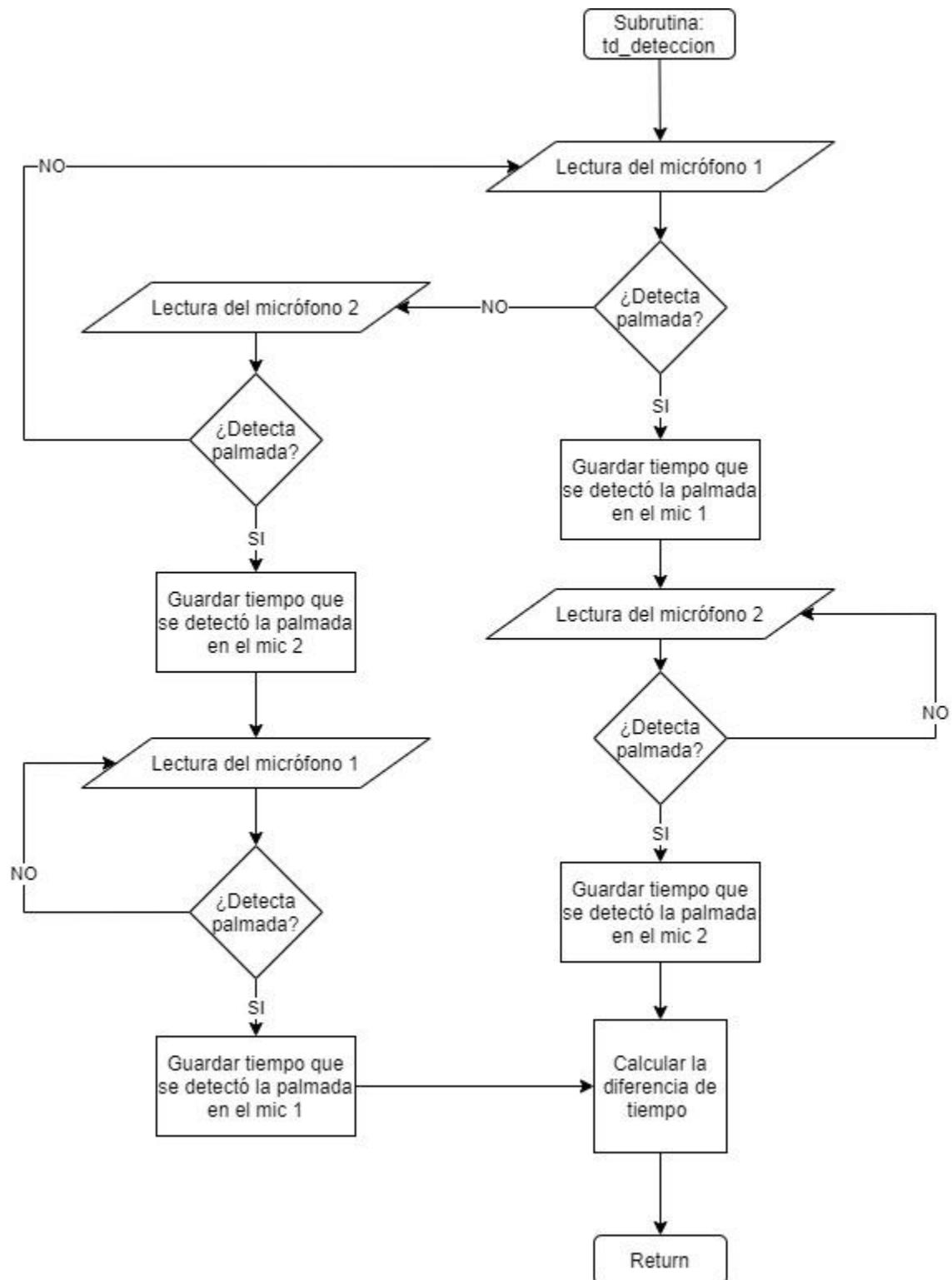


Figura 3.24 Diagrama de flujo de la función "td_deteccion()"

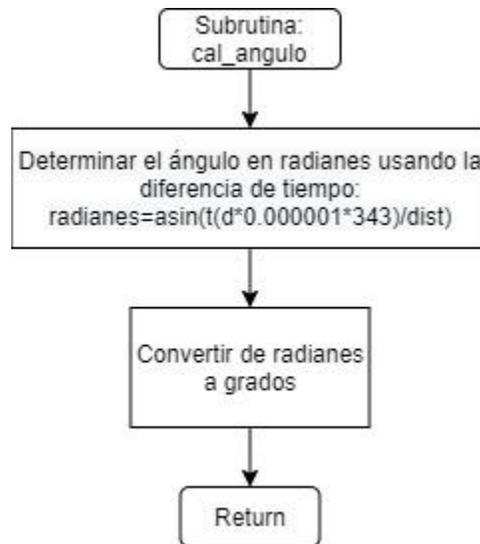


Figura 3.25 Diagrama de flujo de la función “calc_angulo(td,dist)”

3.4.3.RECONOCIMIENTO DE COMANDOS DE VOZ SENCILLOS

Como se explicó con anterioridad, para poder llevar a cabo este módulo de reconocimiento de comandos en el andador utilizaremos un módulo de reconocimiento de voz del fabricante Geeetech que se puede observar en la Figura 3.26.

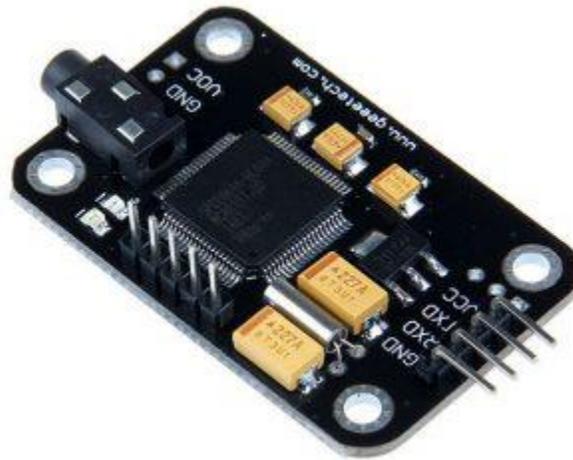


Figura 3.26 Módulo de reconocimiento de voz

Este módulo permite el almacenamiento de 15 instrucciones de voz, almacenadas en tres grupos diferentes, es decir, cinco instrucciones por grupo. El primer paso consta en grabar y guardar las 15 instrucciones repartidas en sus distintos grupos. Su funcionamiento solo permite el uso de uno de estos grupos a la vez, dejando los otros en reserva. En caso de querer utilizar otro distinto, este se debe importar con anterioridad a su uso.

Las características técnicas de este módulo son las siguientes:

- Voltaje nominal: 4.5-5.5 V
- Corriente: < 40 mA
- Interfaz digital: 5V TTL
- Interfaz analógica: conector de micrófono mono-canal de 3.5mm + interfaz pin de micrófono

Entre las características cabe destacar que la interfaz digital es a 5 V y el ESP32 trabaja a 3.3 V, por lo que es necesario utilizar un adaptador de nivel de tensión (Level Shifter), el cual nos permitirá ajustar esta diferencia y por tanto poder utilizar ambos sin problemas (véase Anexo 5).

Lo que se pretende de manera general con este módulo es lograr que el usuario pronuncie uno de los comandos de voz previamente grabados para conseguir controlar de manera remota, a través de la voz, al andador. Incluye la posibilidad de cambio de idioma, pero con la mediación de un programador para que importe mediante algunas instrucciones el grupo del idioma deseado. La Figura 3.27 muestra el diagrama de casos de uso correspondiente.

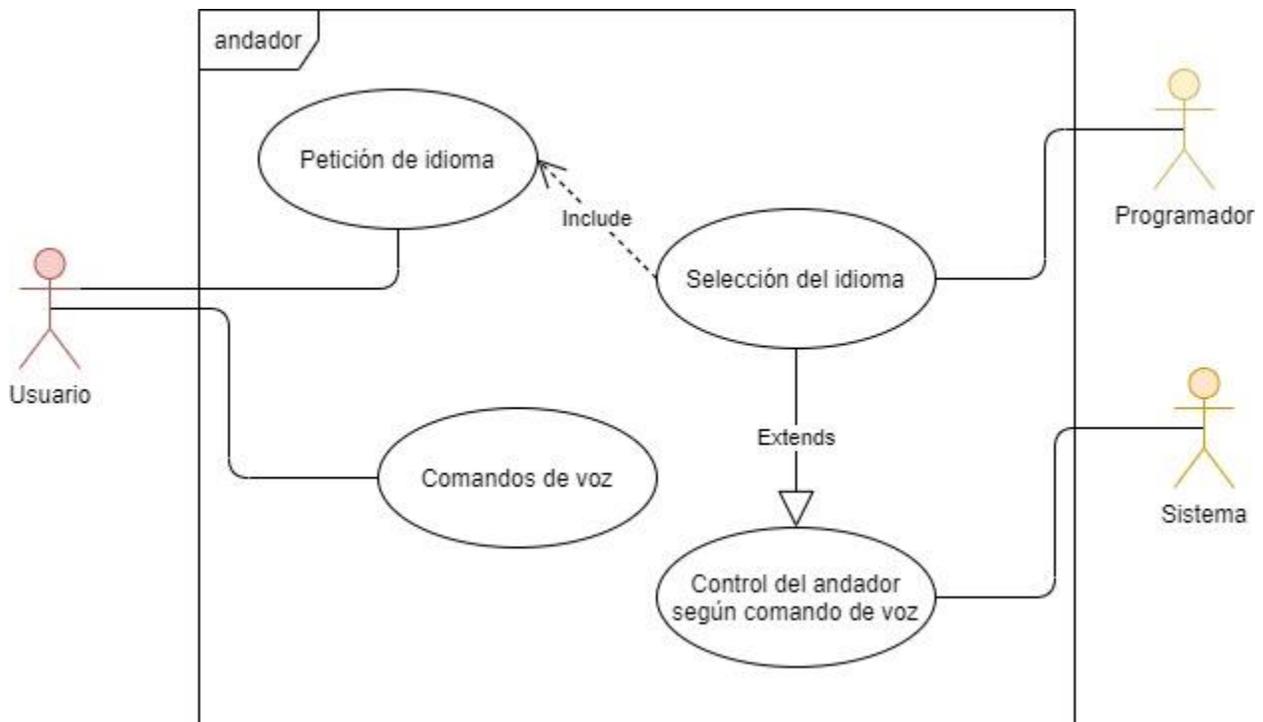


Figura 3.27 Caso de uso de módulo de reconocimiento de voz

El primer paso para poder configurar este módulo es grabar y almacenar los distintos comandos de voz a utilizar en nuestra aplicación. Como se explicó con anterioridad contamos con 15 posibilidades en tres grupos distintos, por lo que lo distribuimos de la siguiente forma:

Tabla 6 Distribución de los grupos y comandos de voz

GRUPO 1 (ESPAÑOL)	GRUPO 2 (INGLES)	GRUPO 3 (FRANCES)
Avanza	Forward	Avant
Retrocede	Backward	Reculer
Derecha	Right	Droit
Izquierda	Left	Gauche
Para	Stop	Arrêt

Para realizar la grabación de estos comandos de voz, necesitamos un adaptador usb serial junto con algún software que nos permita la comunicación entre el módulo y el ordenador. Hay que tener en cuenta que el formato de datos de serie del módulo es: 8 bits de datos, sin paridad y 1 bit de parada, con una velocidad de transmisión por defecto de 9600 baudios (esta velocidad puede ser cambiada).

Luego de configurar correctamente la comunicación enviamos las instrucciones al módulo. Las mismas cuentan con un formato determinado: “Cabecera + Clave”; la cabecera es 0xAA y la clave puede tomar distintos valores (véase Anexo 6).

Como podemos ver en la lista de instrucciones el módulo puede ser configurado en Modo Común o en Modo Compacto. La diferencia entre ellos está en el formato que tiene el mensaje de retorno. El Modo Común devuelve como respuesta un “long string” mientras que el Modo Compacto lo hace como “byte”.

Utilizando estas distintas instrucciones se graban los comandos de voz deseados con la distribución mostrada en la Tabla 6. Terminada la configuración correcta del módulo, se procede a programar las funciones de cada uno de los comandos grabados.

Primeramente, en el setup se procede a configurar la velocidad del puerto serie a la misma velocidad del módulo, en nuestro caso a 9600 baudios. Como utilizaremos el módulo en modo compacto enviamos la instrucción serial 0xAA37. Luego enviamos la instrucción 0xAA seguido del grupo que queremos importar según el idioma deseado, 0x21 para el idioma en español, 0x22 para inglés y 0x23 para francés. En nuestro caso hemos usado la instrucción 0xAA21.

A continuación, pasamos a la rutina del programa. En el mismo utilizamos una variable para leer el puerto serie. Cuando se pronuncia un comando de voz el módulo lo identifica y envía una notificación indicando el comando usado. Observando la Tabla 7 podemos ver que se recibirá a través del puerto serie según dicho comando.

Podemos observar que no depende del grupo, sino solamente de la posición del comando usado para que varíe el mensaje enviado por el módulo. Esto es posible, ya que solo podrá estar un grupo activo a la vez. Con este conocimiento podemos realizar una acción determinada en dependencia del valor recibido, y conseguir que el andador gire derecha o izquierda, que vaya hacia adelante o hacia atrás, o que pare.

Tabla 7 Respuesta del módulo según el grupo y el comando de voz

GRUPO 1 (ESPAÑOL)	GRUPO 2 (INGLES)	GRUPO 3 (FRANCES)
0x11 (Avanza)	0x11 (Forward)	0x11 (Avant)
0x12 (Retrocede)	0x12 (Backward)	0x12 (Reculer)
0x13 (Derecha)	0x13 (Right)	0x13 (Droit)
0x14 (Izquierda)	0x14 (Left)	0x14 (Gauche)
0x15 (Para)	0x15 (Stop)	0x15 (Arrêt)

En la Figura 3.28 se observa el diagrama de flujo del funcionamiento del programa:

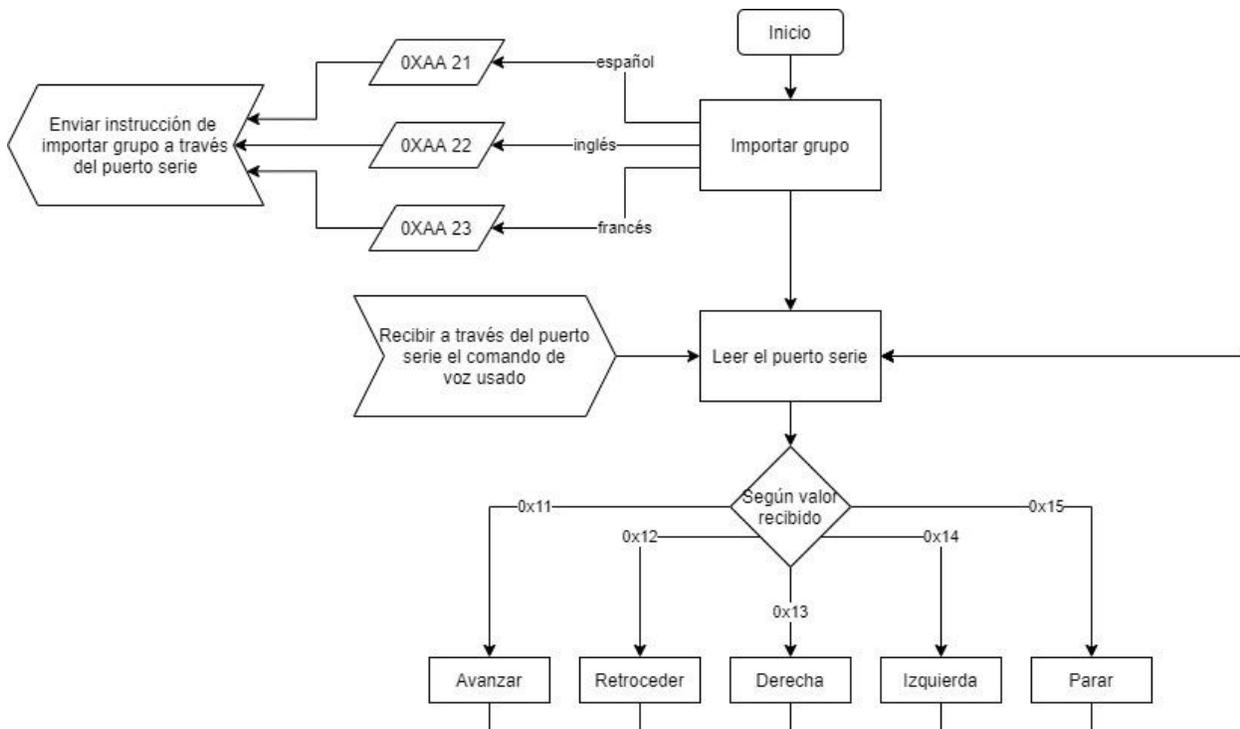


Figura 3.28 Diagrama de flujo del programa de reconocimiento de voz

Este módulo de voz tiene la capacidad de determinar los patrones de voz para almacenar los comandos de voz y comprobar su coincidencia, por lo que es posible que no reconozca dichos comandos al ser pronunciados por otro individuo. Por tanto, es recomendado grabar los comandos directamente por el mismo usuario del andador. No obstante, cabe indicar que varias de las pruebas realizadas fueron ejecutadas por distintos usuarios y aun así se obtuvieron buenos resultados.

4.RESULTADOS

En el presente capítulo se pretende mostrar los distintos resultados alcanzados en el proyecto, haciendo uso de los métodos finales implementados y de esta manera, comprobar la consecución de los objetivos.

4.1. RESPECTO A LA MOTORIZACIÓN

La motorización está visto como una de las funciones principales y primarias del andador inteligente. El primer desafío que se presentó fue la elección del motor a utilizar, por lo que, haciendo un estudio de ello, determinamos dos posibles opciones: motores con escobillas o motores Brushless.

Como opción más viable se seleccionó el uso de los motores con escobillas, debido a diversas facilidades que brindan, entre ellas, la sencillez en el control de velocidad y su bajo coste.

Para escoger el motor específico fue necesario determinar tanto la velocidad nominal como el par necesario para poder desplazar al andador. Con estos valores fijados, se buscó un motor cuyas especificaciones cumplan con ello, escogiendo en nuestro caso el motor EMG30.

Luego, se procedió al diseño de un sistema de engranaje (véase Anexo 7), capaz de transmitir el movimiento a las ruedas con la ayuda de Catia (software de diseño), para después poder utilizar la impresión 3D en la creación de las piezas necesaria, usando PLA Tough como material. Fue necesario imprimir varias veces las distintas piezas y variar, a su vez, el diseño de las mismas para alcanzar el funcionamiento óptimo y lograr que todo encajara en su lugar de manera correcta (Figura 4.1).

Una vez todo montado y la rutina del programa cargada en el microcontrolador, se procedió a realizar las pruebas de movimiento. Regulando el potenciómetro a distintos valores, resultó que la velocidad máxima alcanzada por el andador era demasiado alta en relación con la velocidad media a la que se utiliza este. A pesar de ello, esto no debe ser considerado un resultado negativo, ya que el andador es capaz de lograr velocidades menores y por lo tanto de cumplir con la deseada.

También se calculó el par necesario para poder moverse en superficies inclinadas, llegando a la conclusión de la necesidad de utilizar motores con mayor par para superficies con un ángulo de inclinación mayor a 3°.



Figura 4.1 Andador con las piezas diseñadas montadas

4.2. RESPECTO AL SISTEMA DE SEGUIMIENTO

En cuestión de seguridad, y a su vez para reducir el esfuerzo del usuario, se incorporó un sistema de seguimiento que sea capaz de detectar la distancia a la que se encuentra el usuario y ajustar la velocidad en relación a ello.

Al comienzo de la realización de las primeras pruebas, el sensor no devolvía los valores deseados y cada vez que no recibía el eco de la onda de sonido mostraba picos y medidas muy elevadas. Analizando estos picos, nos percatamos de que se comportaban muy similar a los rebotes que ocurren en algunos componentes mecánicos por lo que utilizamos una rutina por software antirrebote para eliminar estos valores indeseados.

Luego de esto, resultó que las medidas aún continuaban con un poco de ruido e inestabilidad, por lo que se optó por utilizar un filtro Kalman para lograr amortiguar y suavizar dichos ruidos. Una vez aplicado este filtro, la onda ya era lo bastante buena para, a partir de ello establecer una relación inversa a la velocidad de los motores; puesto que, a más cerca el usuario, más de prisa deben ir los motores, es decir, a menor distancia más velocidad y viceversa.

En la Figura 4.2 podemos apreciar la mejora en los resultados obtenidos por el sensor, Se observa cómo, a medida que se fue mejorando la rutina del programa y corrigiendo los distintos problemas, logramos obtener una buena medida.

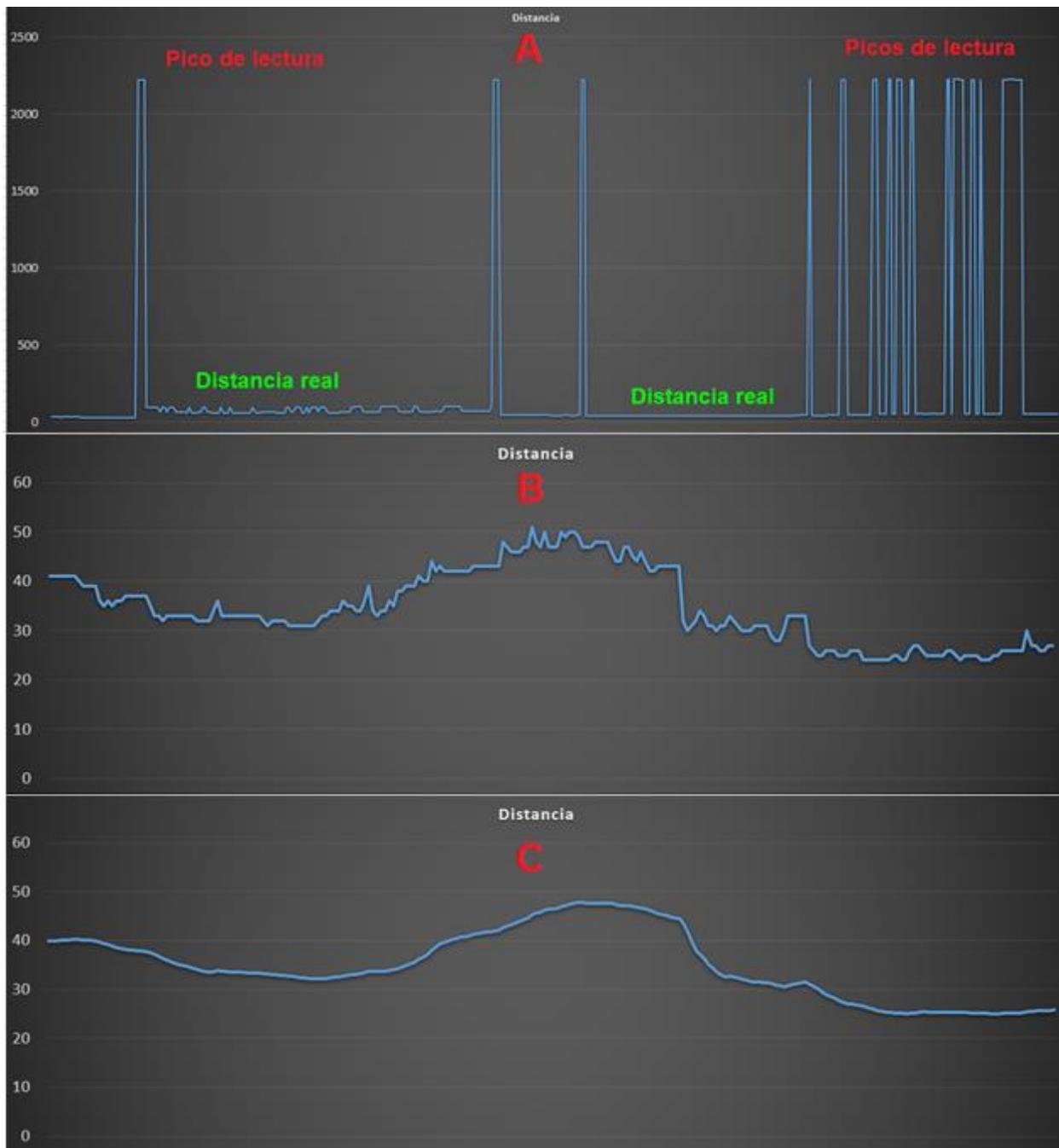


Figura 4.2 Distancia medida por el sensor A) Básica B) Eliminación de picos C) Utilización de filtro Kalman

4.3. RESPECTO A LA TELEOPERACIÓN

El módulo de teleoperación se ha creado para permitir al usuario tener facilidades a la hora de acceder al andador, principalmente cuando este se encuentre a relativa distancia.

Para ello se necesita lograr un control intuitivo y fácil, para lo que se desarrollaron algunas alternativas.

4.3.1. TELEOPERACIÓN MEDIANTE MÓVIL

Lograr comandar el andador, utilizando un dispositivo móvil como mando de control no causó muchos problemas en su implementación. Luego de analizar el comportamiento de los motores según la posición del joystick, fue muy sencillo emplear el circuito de la motorización básica para controlar el andador según se deseaba.

Al conectar el dispositivo móvil al punto de acceso generado por el ESP32 y abrir el servidor web disponible, ya estaba el andador en condiciones de ser teleoperado, siendo el rango de uso bastante amplio, dependiendo de la intensidad de la señal wifi generada. Se realizaron pruebas a distancias de hasta 8m sin que ocurriera ningún problema.

4.3.2. DETECCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO MEDIANTE MICRÓFONOS

Respecto a la detección de la posición mediante el uso de micrófonos, se realizaron varios experimentos en un ambiente acústicamente controlado. A partir de un sonido generado, en nuestro caso un aplauso, se determinó la diferencia de tiempo que tarda la activación de un micrófono respecto a otro. De esa manera pudimos determinar la dirección de procedencia del sonido y el ángulo exacto de procedencia.

Para obtener algunos resultados y determinar la capacidad de funcionamiento del módulo, medimos principalmente tres variables: la dirección (derecha o izquierda), el ángulo y la variación del tiempo.

En la Figura 4.3 podemos observar la respuesta del módulo ante varios aplausos. En la mayoría de los casos las medidas y los cálculos son correctos, pero hay que tener en cuenta que en algunas ocasiones se pueden producir efectos indeseados. En la figura podemos ver dos ocasiones en las que la diferencia de tiempo es muy grande, por lo que no es posible determinar correctamente el ángulo. Esto se debe a problemas acústicos, causados por errores en la activación de uno u otro micrófono o por los rebotes generados por paredes u otros objetos alrededor. La precisión del módulo en la determinación correcta del ángulo también depende de la situación acústica del medioambiente.

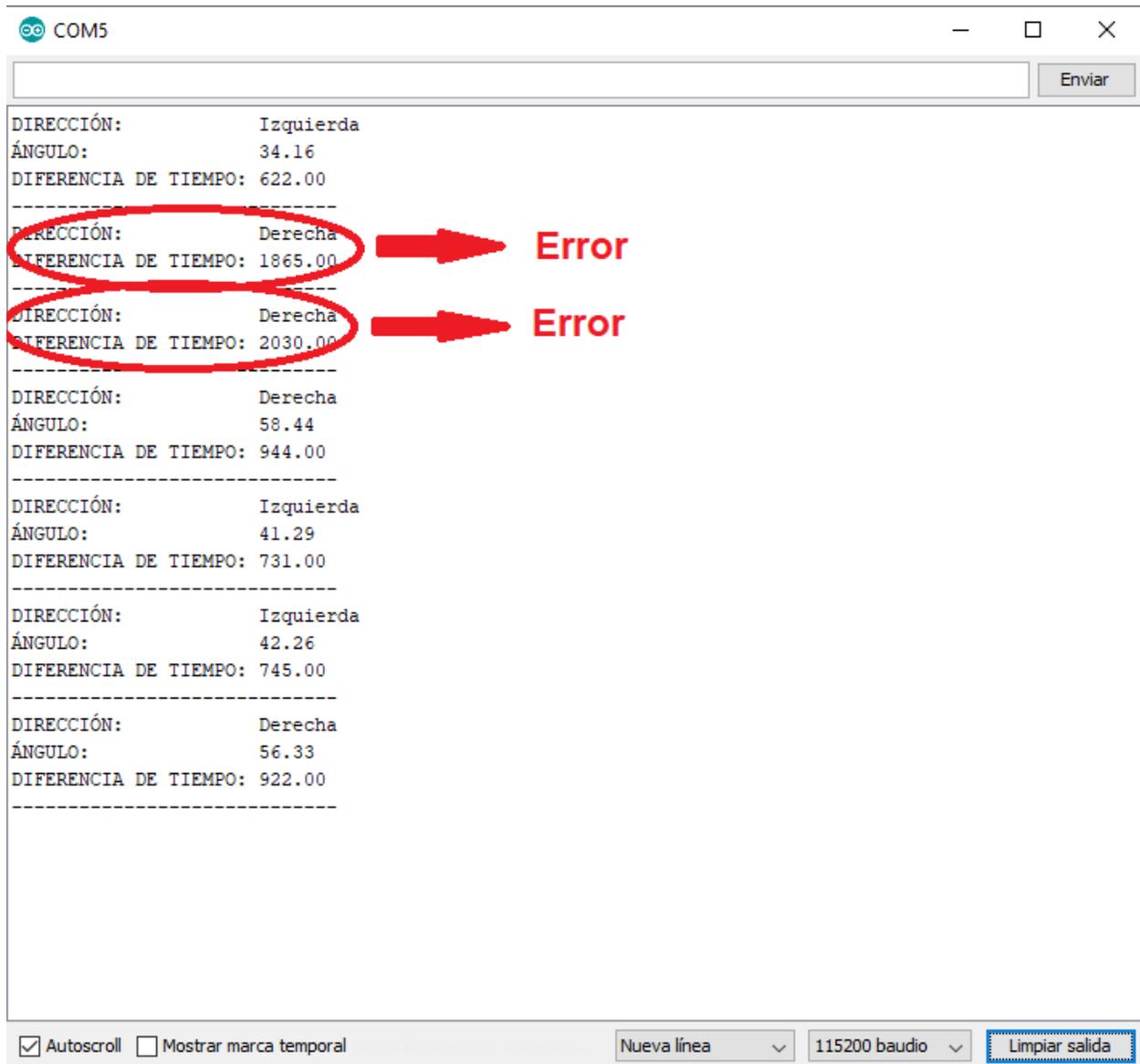


Figura 4.3 Resultado de medida de posición

Se realizaron varias pruebas al módulo para poder determinar la tasa de aciertos y fallos que pueden suceder durante su uso. En la Tabla 8 se observa la cantidad de casos correctos y los errores producidos por el módulo dentro de un total de 72 intentos. En la Figura 4.4 se puede evaluar con más claridad la eficacia del mismo.

Tabla 8 Porcentaje de fallos y aciertos

	Cantidad	Porcentaje
Error	16	22%
OK	56	78%
Total	72	100%

Fallos y Aciertos

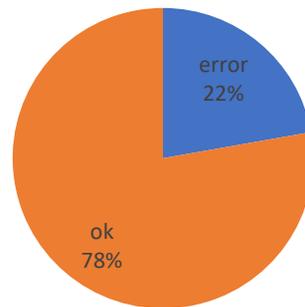


Figura 4.4 Eficacia del módulo de detección de la posición del usuario

A pesar de lo anteriormente aducido, se puede considerar que los resultados y las respuestas obtenidas por el módulo son bastante buenos, teniendo en cuenta los materiales y medios usados.

4.3.3.RECONOCIMIENTO DE COMANDOS DE VOZ SENCILLOS

En el reconocimiento de comando de voz sencillos utilizamos un módulo de reconocimiento de voz. El mismo necesita ser configurado previamente con los comandos de voz.

Con todo lo descrito en el capítulo de desarrollo podemos comprobar cómo reacciona el módulo ante las distintas instrucciones dadas, por lo que utilizamos la siguiente secuencia de comandos:

1. "Avanza"
2. "Derecha"
3. "Izquierda"
4. "Retrocede"
5. "Derecha"
6. "Para"

A respuesta de esta serie de comandos de voz se puede observar en la Figura 4.5 lo recibido por el puerto serie.

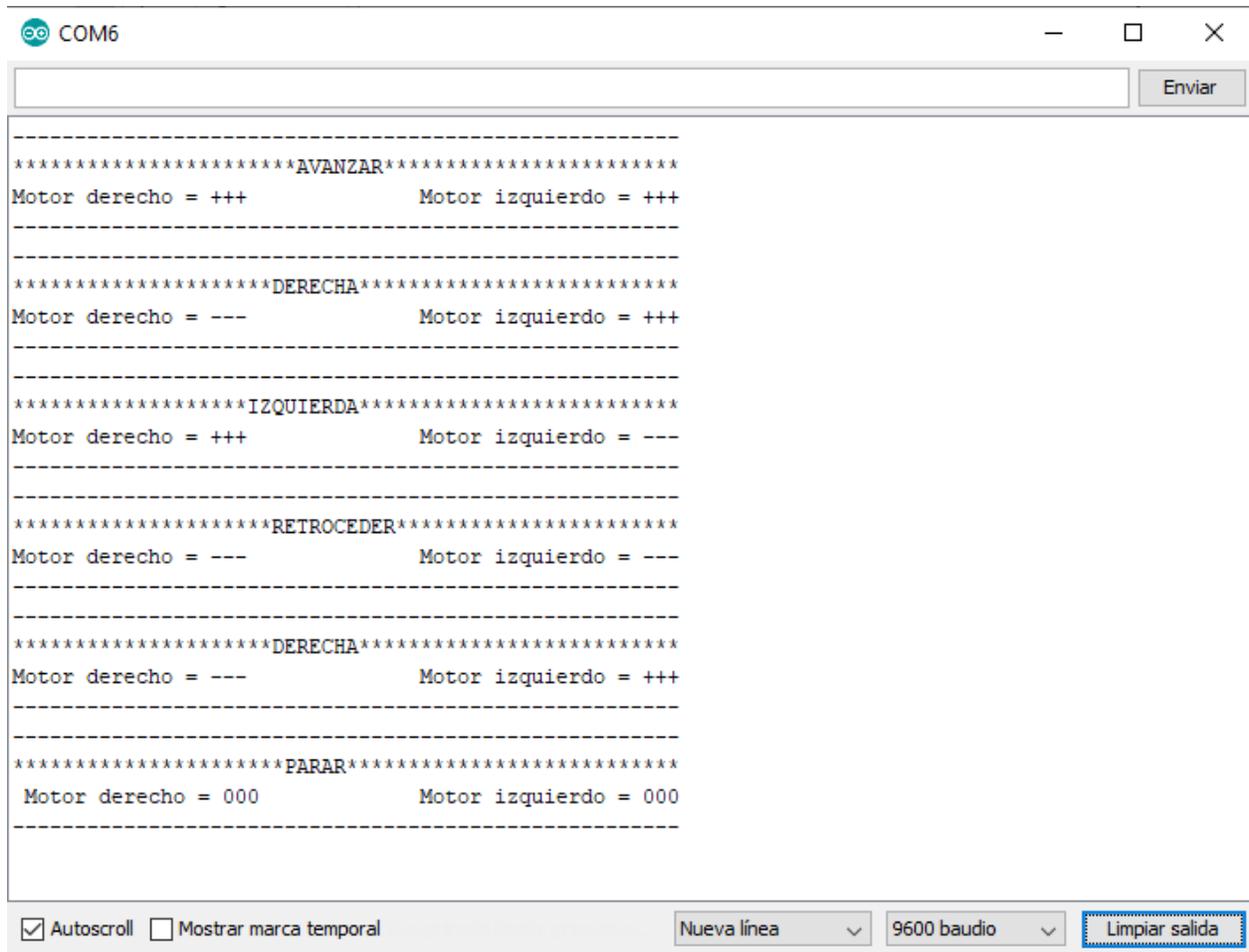


Figura 4.5 Respuesta a comandos de voz

Llegado hasta este punto solo necesitaríamos implementar la rutina necesaria para que los motores realicen la acción solicitada y probar los tiempos de encendido o apagado de los motores para que ejecuten el giro en un ángulo determinado. Aun así, podemos observar que el módulo de reconocimiento de voz es capaz de detectar varios comandos sencillos para poder controlar el andador desde la distancia.

Otras pruebas fueron realizadas para comprobar la eficacia del reconocimiento de cada uno de los comandos. Las mismas han sido comprobadas solamente en el idioma español y los comandos de voz han sido grabados por una persona distinta a la que realiza las pruebas. El proceso correspondiente fue comprobar una cierta cantidad de veces cada uno de los comandos, en nuestro caso se realizaron veinte intentos.

Tabla 9 Aciertos y errores del comando Avanzar

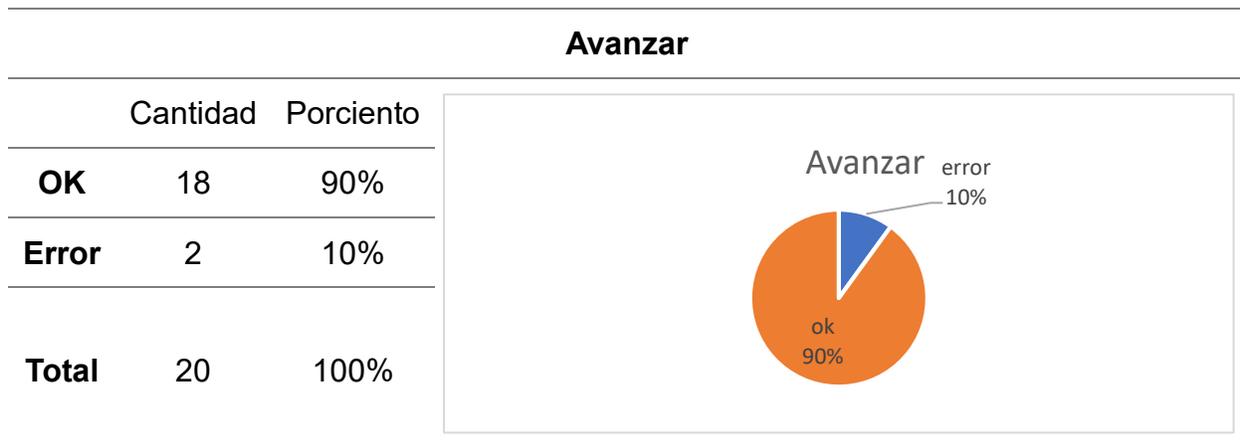


Tabla 10 Aciertos y errores del comando Retroceder

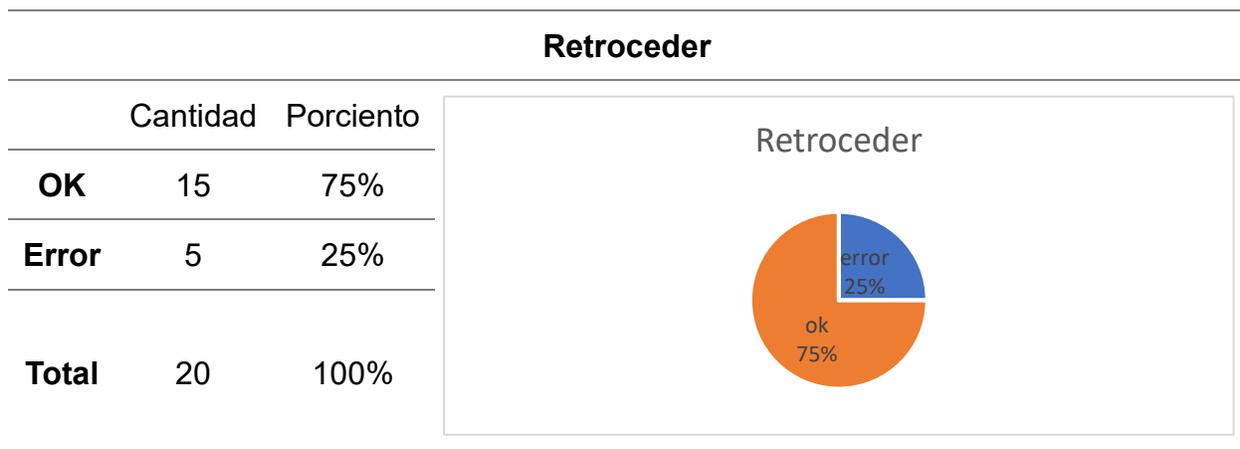


Tabla 11 Aciertos y errores del comando Derecha

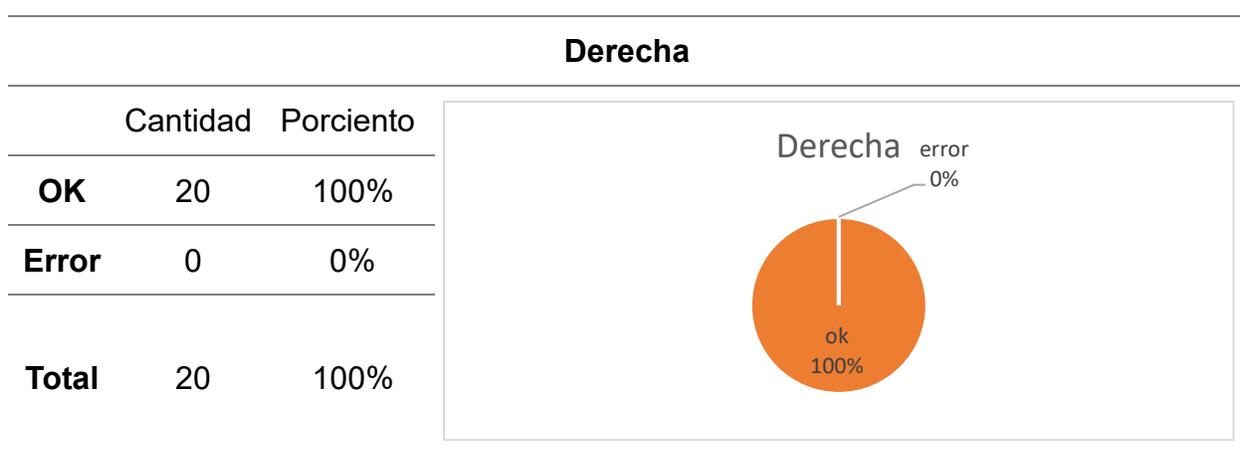


Tabla 12 Aciertos y errores del comando Izquierda

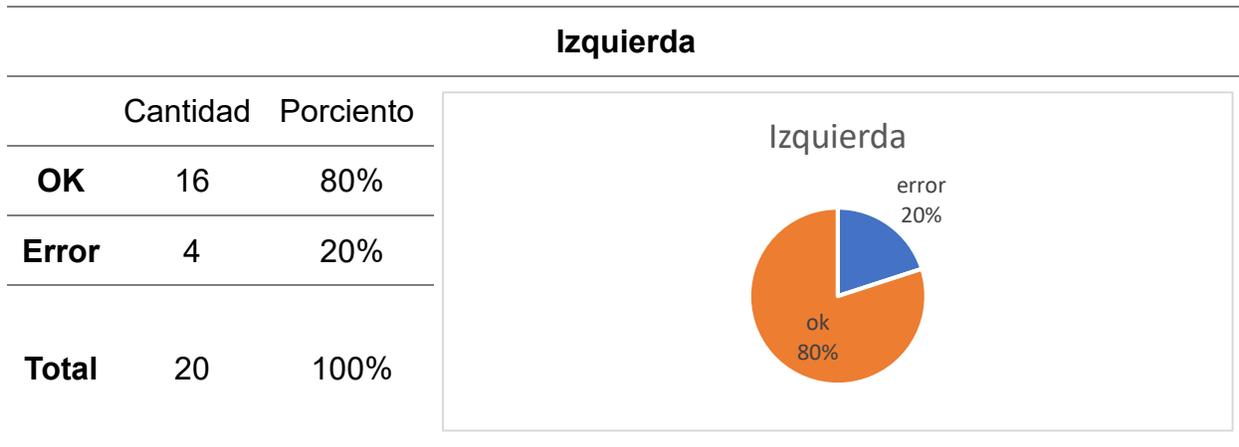
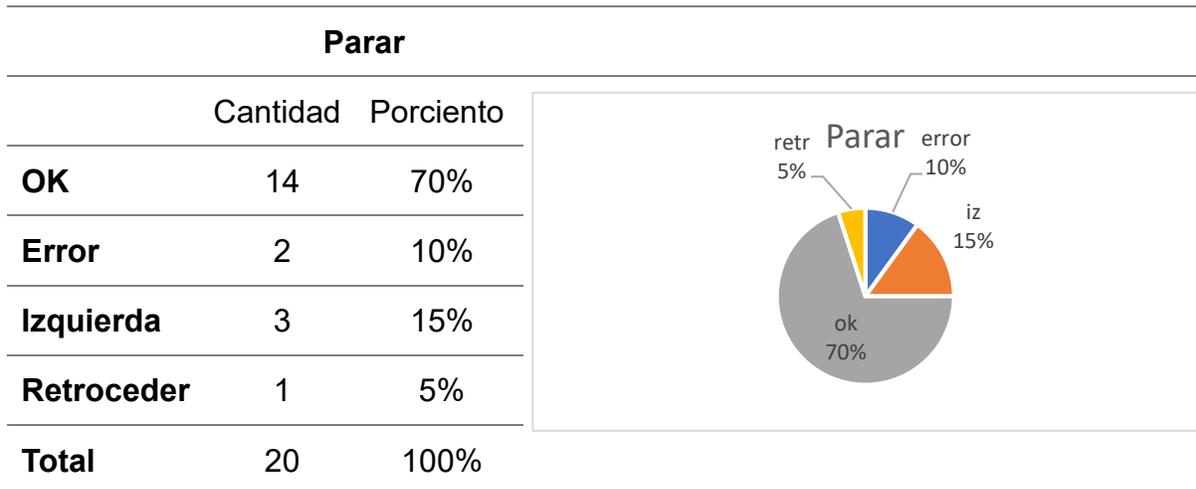


Tabla 13 Aciertos y errores del comando Parar



Los errores censados en las tablas anteriores muestran los casos en los que se utilizaron los comandos y el módulo no fue capaz de reconocerlos. Además, se puede observar en la Tabla 13 la posibilidad de que confunda algunos comandos, lo que se debe a factores como la fonética de la palabra a reconocer, el nivel de exactitud del proceso de reconocimiento y/o condiciones acústicas del experimento, entre otros.

Hay que tener en cuenta que en conjunto con el módulo de reconocimiento de voz vino un micrófono con el cual se realizaron las pruebas, y se comprobó que, haciendo uso de este, éramos capaces de identificar los comandos enviados a una distancia máxima de 2m aproximadamente. Por lo que, al desear una mayor distancia para el reconocimiento de los comandos, se hace necesaria la utilización de un micrófono con mucha más sensibilidad y calidad.

5. ESTUDIO ECONÓMICO

En este capítulo se llevará a cabo un estudio del coste económico que supone la realización del proyecto desarrollado. Este es un punto importante, ya que los resultados de este estudio nos permitirán estimar la viabilidad de nuestro proyecto. El mismo abarca la creación de un andador automatizado básico, tanto a nivel mecánico, como a nivel de software y electrónica.

5.1. RECURSOS EMPLEADOS

Para lograr ejecutar este proyecto y lograr convertir un andador comercial en un andador automatizado necesitaremos una serie de recursos. A continuación, se mostrará un resumen de dichos recursos, tanto hardware como software, empleados en el desarrollo de la aplicación. Hay que tener en cuenta el período de tiempo que ha sido invertido en el proyecto, para de esta manera calcular el coste real de una forma más acertada.

Software:

- Sistema operativo: Windows 10 Professional
- Software de modelado gráfico: Catia
- Arduino Software (IDE)
- Paquete Microsoft Office 2016

Hardware:

- Ordenador portátil: Dell Inspiron (4GB RAM)
- Módulo ESP32-WROOM-32
- Dos Motores EMG30
- Puente H L298N
- Batería 12V
- Dos módulos de sonido KY-038
- Dos sensores de ultrasonido HC-SR04

Material ofimático:

- Libros de consulta
- Materiales de oficina (fotocopias, libros, bolígrafos, etc.)

5.2. COSTES DIRECTOS

Los costes directos son aquellos, que como su nombre indica, están directamente asociados a las etapas de desarrollo del proyecto y envuelven a:

- Coste del personal
- Costes amortizables de programas y equipos
- Coste de materiales directos empleados

Costes del personal

Para la realización del proyecto se cuenta con un ingeniero encargado de la realización de los diseños, de la implementación de las distintas aplicaciones a realizar y de la puesta a punto de los sistemas correspondientes.

Para poder determinar el coste por hora de un ingeniero, antes debemos estimar cuanto será el coste promedio anual de este, los días laborables en un año y las horas diarias trabajadas. Entonces, teniendo el coste por horas podemos adecuarlo a las horas invertidas en la realización del proyecto

Analizamos el coste anual del ingeniero:

Tabla 14 Coste anual del personal

<i>COSTE ANUAL</i>	
<i>Sueldo bruto más incentivos</i>	35 000.00 €
<i>Seguridad Social (35% sueldo bruto)</i>	12 250.00 €
<i>Coste total</i>	47 250.00 €

A continuación, se realiza una estimación de los días efectivos trabajados al año:

Tabla 15 Días efectivos por año

<i>DÍAS EFECTIVOS POR AÑO</i>	
<i>Año medio</i>	365 días
<i>Sábados y Domingos</i>	-104 días
<i>Días de vacaciones efectivos</i>	-24 días
<i>Días festivos reconocidos (Valladolid)</i>	-14 días
<i>Días perdidos estimados</i>	-5 días
<i>Total días efectivos estimados</i>	218 días

Conociendo ya el número total de días efectivos de trabajo, y que la jornada laboral es de 8 horas, obtenemos el total de horas efectivas de trabajo:

$$218 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 1\,744 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

El coste por hora de un ingeniero se calcula como la división del sueldo anual entre las horas efectivas trabajadas al año:

$$\frac{\text{Coste}}{\text{hora}} = \frac{47\,250.00 \frac{\text{€}}{\text{año}}}{1\,744 \frac{\text{horas}}{\text{año}}} = 27.09 \text{ €/hora}$$

Determinado el coste por hora de un ingeniero podemos proseguir con la determinación de las horas invertidas en cada una de las etapas de realización del proyecto:

Tabla 16 Distribución temporal de trabajo

DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE TRABAJO

<i>Formación y documentación</i>	150 horas
<i>Estudio del problema</i>	200 horas
<i>Desarrollo de la aplicación</i>	250 horas
<i>Puesta a punto del sistema</i>	200 horas
<i>Elaboración de la documentación</i>	100 horas
<i>Total de horas empleadas</i>	900 horas

Con todos los datos anteriormente calculados es sencillo determinar entonces el coste de personal directo:

$$\text{Coste de personal} = 900 \text{ horas} * 27.09 \frac{\text{€}}{\text{hora}} = 24\,381.00 \text{ €}$$

COSTE PERSONAL DIRECTO	24 381.00 €
-------------------------------	--------------------

Costes amortizables de programas y equipos

Los costes amortizables de programas y equipos corresponden al uso de las herramientas necesaria para poder llevar a cabo el proyecto y que serán de una manera u otra amortizadas durante su vida útil.

Para el cálculo de estos costes se debe realizar previamente la inversión total y calcular la amortización lineal correspondiente según los criterios establecidos. Consideramos materiales amortizables a todo lo utilizado en relación con equipos informáticos, incluyendo tanto hardware como software.

Estimamos tres años como período de amortización, ya que es el considerado como vida útil de dicho material, de forma que, al calcular el coste, hay que multiplicar por un factor del 3.33 los precios mostrados.

Tabla 17 Amortización del material

MATERIAL	IMPORTE (aprox.)	AMORTIZACIÓN 33.3 %
Sistema Operativo Windows 10	259.00 €	85.47 €
Paquete Microsoft Office 2016	150.00 €	49.50 €
Catia	500.00 €	165.00 €
Ordenador Dell Inspiron	500.00 €	165.00 €
Total	1 409.00 €	464.97 €

Notar que los programas informáticos mencionados en el proyecto que no han sido incluidos en la Tabla 17 no poseen coste alguno, por lo que la amortización de los mismos equivale a cero.

El coste final por hora de utilización del material es calculado mediante la división de la amortización anual entre el número de horas de uso en dichos equipos.

$$\frac{\text{Coste final}}{\text{hora}} = \frac{464.97 \frac{\text{€}}{\text{año}}}{1\,744 \frac{\text{horas}}{\text{año}}} = 0,26 \frac{\text{€}}{\text{hora}}$$

Teniendo el coste por hora de amortización de cada producto, podemos multiplicarlo por el tiempo de utilización de todos estos materiales. Por tanto, el coste de amortización será:

$$\text{Coste de amortización} = 900 \text{ horas} * 0.26 \frac{\text{€}}{\text{hora}} = 234.00 \text{ €}$$

COSTE DE AMORTIZACIÓN DE PROGRAMAS Y EQUIPOS	234.00 €
---	-----------------

Costes de materiales directos empleados

Dentro de estos materiales se encuentran los materiales consumibles utilizados durante el desarrollo del proyecto: libros, bolígrafos, papel de impresora, fotocopias, tinta, herramientas varias, cables etc. El coste total de este estos materiales varios se puede estimar aproximadamente en 180.00 €.

También hay que incluir los siguientes elementos:

Tabla 18 Materiales directos

MATERIAL	IMPORTE (aprox.)
Módulo ESP32-WROOM-32	10.00 €
Motores EMG30	2 x 40.00 €
Puente H L298N	6.00 €
Módulos de sonido KY-038	2 x 7.00 €
Sensores de ultrasonido HC-SR04	5.00 €
Total	115.00 €

Adicionando estos dos valores totales estimados obtenemos el coste total directo de los materiales utilizados

$$\text{Coste de materiales} = 180.00 \text{ €} + 115.00 \text{ €} = \mathbf{295.00 \text{ €}}$$

COSTE DE MATERIALES	295,00 €
---------------------	----------

Costes directos totales

Solo nos queda realizar la suma de todos los costes directos mencionados anteriormente para obtener los costes directos totales:

$$\text{Coste directos totales} = 24\ 381.00 \text{ €} + 234.00 \text{ €} + 295.00 \text{ €} = 24\ 910.00 \text{ €}$$

COSTES DIRECTOS	24 910.00 €
-----------------	-------------

5.3. COSTES INDIRECTOS

Los costes indirectos son aquellos necesarios para realizar el proyecto pero que no forman parte del objeto final del proyecto, o sea, los gastos generados por elementos considerados no directos.

Tabla 19 Costes indirectos

<i>COSTES INDIRECTOS PARCIALES</i>	
<i>Dirección y servicios administrativos</i>	140.00 €
<i>Consumo de electricidad</i>	150.00 €
<i>Consumo de telefonía</i>	30.00 €
<i>Consumo de desplazamiento</i>	55.00 €
<i>Total gastos indirectos</i>	375.00 €

Por tanto, los costes indirectos totales ascienden a:

COSTES INDIRECTOS	375,00 €
--------------------------	-----------------

5.4. COSTES TOTALES

Los costes totales son el resultado de sumar los gastos directos e indirectos, esto se denomina “Presupuesto de Ejecución Material” (PEM), a este valor hay que añadirle los “Gastos Generales” y el “Beneficio Industrial”, los cuales se determinan por el 13% y el 6% respectivamente del PEM.

Tabla 20 Costes totales

<i>COSTES TOTALES</i>	
<i>Costes directos</i>	24 910.00 €
<i>Costes indirectos</i>	375.00 €
PEM	25 285.00 €
Gastos Generales (13% PEM)	3 287.05 €
Beneficio Industrial (6% PEM)	1 517.10 €
COSTES TOTALES	30 089.15 €

En conclusión, el coste total del proyecto asciende a la cantidad de:

COSTES TOTALES DEL PROYECTO	30 089.15 €
------------------------------------	--------------------

6. CONCLUSIONES

El objetivo del proyecto fue dotar a un andador comercial de ciertas características, incorporándole distintos módulos con funcionalidades determinadas, facilitando y haciendo más fiable, de esta manera, el uso de los andadores para lograr ayudar en la movilidad e independencia de los usuarios.

Primeramente, se llevó a cabo un estudio teórico de los diversos elementos involucrados en la creación de los módulos a realizar. Se comenzó determinando los posibles motores a utilizar para conseguir la movilidad del andador, siendo la base fundamental para lograr implementar el resto de los módulos. Se detallaron también aspectos sobre la transmisión de potencia de un punto a otro, con el objetivo de determinar qué sistema nos era más propicio para transferir el movimiento de los motores a las ruedas.

Se analizó las características de algunos sensores de distancia para poder seleccionar el más adecuado para el proyecto. Se abordó las características de los micrófonos para comprender su funcionamiento y de este modo, utilizarlos de la manera más óptima y conveniente. Otro elemento a estudiar fue el funcionamiento requerido para lograr el reconocimiento de comandos de voz, por lo que se revisaron los principios básicos de manera resumida.

Por otro lado, se analizó la situación actual de los distintos andadores, tanto de los básicos como de los inteligentes. Se hizo una revisión de ellos y se realizó una comparación entre sus ventajas y desventajas con el fin de ejecutar un proyecto de mayor calidad.

En segundo lugar, se procedió a la realización y el análisis de las opciones para implementar los distintos módulos. Para empezar, se mostró algunas características del microprocesador a utilizar, que constituye una herramienta esencial. A partir de allí, se comenzó con la programación e implementación de la motorización de nuestro andador, obteniendo resultados favorables.

Utilizando los sensores de ultrasonidos, se desarrolló el módulo de seguimiento para controlar la distancia del usuario respecto al andador. A pesar de las dificultades que se presentaron con las medidas erróneas, provocadas por las irregularidades en la ropa y otros factores, se logró un funcionamiento adecuado y preciso del módulo.

Además, se desarrolló el módulo de teleoperación, el cual fue el más amplio y cuya implementación llevó a definir varios métodos: un sistema de teleoperación mediante móvil, otro de detección de la posición del usuario utilizando micrófonos, y un último, a partir de comandos de voz para dirigir al andador. Estas opciones han sido llevadas a cabo y hemos obtenidos resultados adecuados al nivel de implementación realizado.

Todos los resultados prácticos logrados mostraron el funcionamiento correcto de los distintos módulos y su aplicación en el proyecto.

Por último, se elaboró un estudio económico para determinar el presupuesto total que se necesitó para la concreción del actual proyecto.

Aunque el desarrollo del presente trabajo ha sido vasto y bastante extenso, se proponen algunas recomendaciones futuras. Una de ellas consiste en la consideración y el análisis del uso de motores Brushless, en vez de motores de corriente directa con escobillas, buscando, de esta manera, una menor frecuencia de deterioro y una reducida necesidad de mantenimiento.

También cabe destacar el uso de un control PID para regular la velocidad de estos motores, por lo que será necesario el uso de encoders para la realimentación de dicho control. De esta forma se eliminarán problemas con respecto a las velocidades de los motores en las ruedas

Otra de las recomendaciones incluye, con respecto a las distintas alternativas planteadas para el módulo de teleoperación, la exigencia de más pruebas en distintas condiciones acústicas, además de llevarlo a un nivel de implementación mayor para poder probar en un andador real, ya que durante la parte final del proyecto no fue posible hacerlo por las limitaciones del estado de alarma impuestas por el COVID-19.

REFERENCIA

- [1] M. Martins, C. Santos, A. Frizera, and R. Ceres, "A review of the functionalities of smart walkers," *Med. Eng. Phys.*, vol. 37, no. 10, pp. 917–928, Oct. 2015, doi: 10.1016/J.MEDENGPHY.2015.07.006.
- [2] S. M. Bradley and C. R. Hernandez, "Geriatric Assistive Devices," *Am. Fam. Physician*, vol. 84, no. 4, pp. 405–411, Feb. 2011.
- [3] V. Weiss, G. Bologna, S. Cloix, D. Hasler, and T. Pun, "Walking Behavior Change Detector for a 'Smart' Walker," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 39, pp. 43–50, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.procs.2014.11.008.
- [4] EDN, "EDN - Brushless DC Motors – Part I: Construction and Operating Principles -," *EDN*. 27-Mar-2013.
- [5] P. R. N. Childs, "Chapter 8 - Gears," in *Mechanical Design Engineering Handbook*, P. R. N. Childs, Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014, pp. 317–366.
- [6] J. S. Wilson, Ed., "CHAPTER 15 - Position and Motion Sensors," in *Sensor Technology Handbook*, Burlington: Newnes, 2005, pp. 321–409.
- [7] B. Szlachetko and M. Lower, "A Surrounding World Knowledge Acquiring by Using a Low-cost Ultrasound Sensors," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 35, pp. 93–100, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.procs.2014.08.088.
- [8] J. Fraden, *Handbook of Modern Sensors Physics, Designs, and Applications*, 4th ed. New York, NY: Springer New York.
- [9] M. Royer and T. Midavaine, "IR and FIR Sensors," in *Sensors*, John Wiley & Sons, Ltd, 2008, pp. 201–232.
- [10] S. L. Garrett, *Understanding Acoustics: An Experimentalist's View of Acoustics and Vibration*. Cham: Springer International Publishing, 2017.
- [11] T. D. Rossing and N. H. Fletcher, *Principles of Vibration and Sound*. New York, NY: Springer New York, 2004.
- [12] D. Yu, *Automatic Speech Recognition A Deep Learning Approach*, 1st ed. 20. London: Springer London.
- [13] H. Hermansky, "TRAP-TANDEM: data-driven extraction of temporal features from speech," in *2003 IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding*, 2003, pp. 255–260, doi: 10.1109/ASRU.2003.1318450.
- [14] M. Athineos, H. Hermansky, and D. P. W. Ellis, "LP-TRAP Linear predictive temporal patterns," IDIAP, 2004.
- [15] V. Tyagi and C. Wellekens, "Fepstrum representation of speech signal," in *IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding, 2005.*, 2005, pp. 11–16, doi: 10.1109/ASRU.2005.1566475.
- [16] T. Hellström *et al.*, "An intelligent rollator for mobility impaired persons, especially stroke patients," *J. Med. Eng. Technol.*, vol. 40, no. 5, pp. 270–279, Oct. 2016, doi: 10.3109/03091902.2016.1167973.

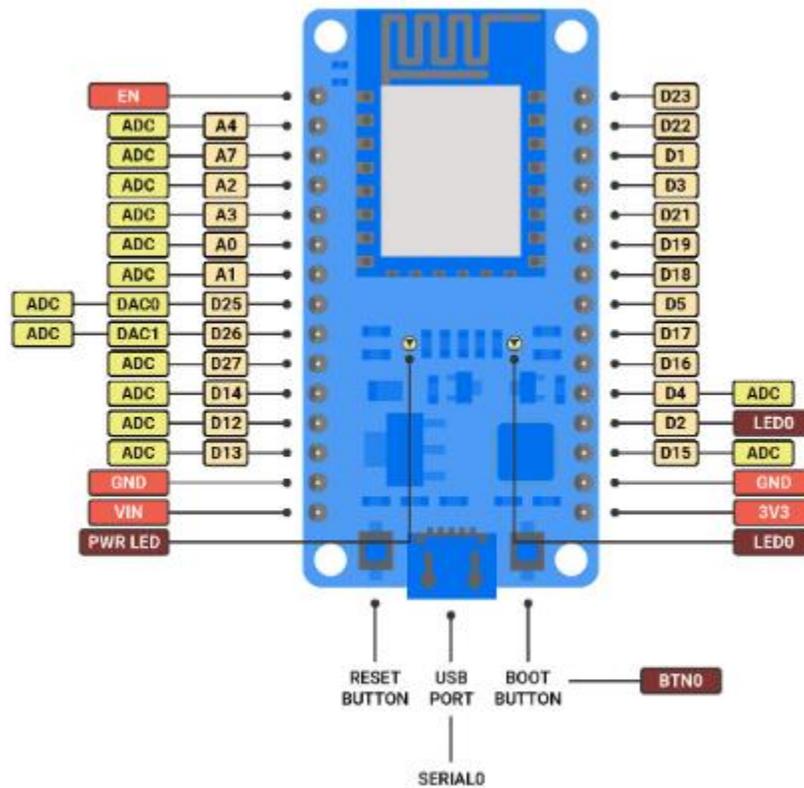
- [17] A. Rishworth and S. J. Elliott, "Aging in the Developing World," in *International Encyclopedia of Human Geography*, Elsevier, 2020, pp. 79–82.
- [18] R. W. Cribbes, "Walking aid," 10-Feb-1953.
- [19] O. M. Sundberg, "Orthopedic walker," 10-Feb-1957.
- [20] M. Spenko, H. Yu, and S. Dubowsky, "Robotic Personal Aids for Mobility and Monitoring for the Elderly," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 14, no. 3, pp. 344–351, 2006, doi: 10.1109/TNSRE.2006.881534.
- [21] Y. Kai *et al.*, "A walking support/evaluation machine for patients with parkinsonism," *J. Med. Investig.*, vol. 51, no. 1–2, pp. 117–124, Mar. 2004, doi: 10.2152/jmi.51.117.
- [22] "KY-038 Microphone sound sensor module - SensorKit X40 Wiki." [Online]. Available: http://sensorkit.en.joy-it.net/index.php?title=KY-038_Microphone_sound_sensor_module.

ANEXOS

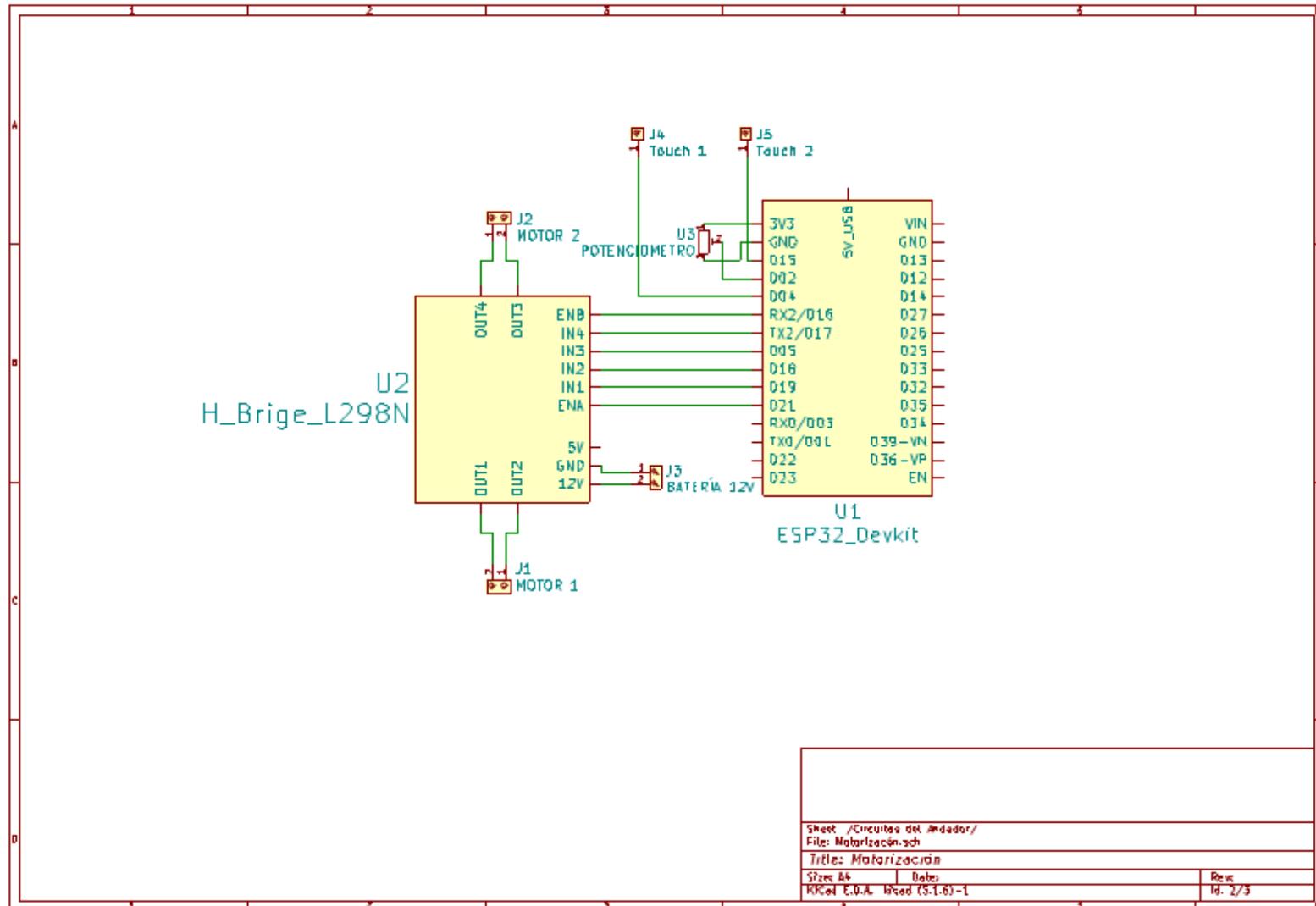
Anexo 1 Datasheet ESP32

https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

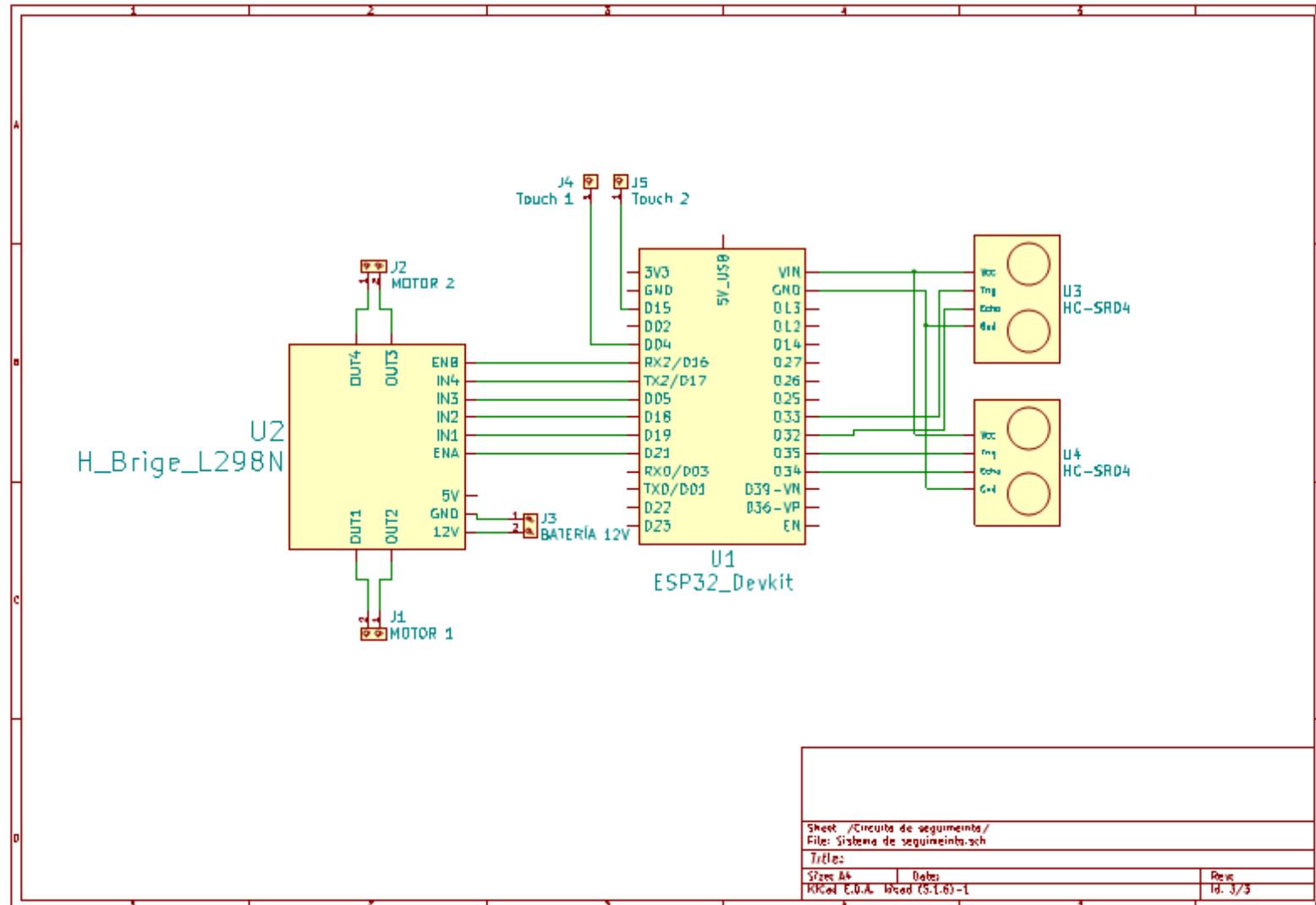
Esp32 dev kit Pinout



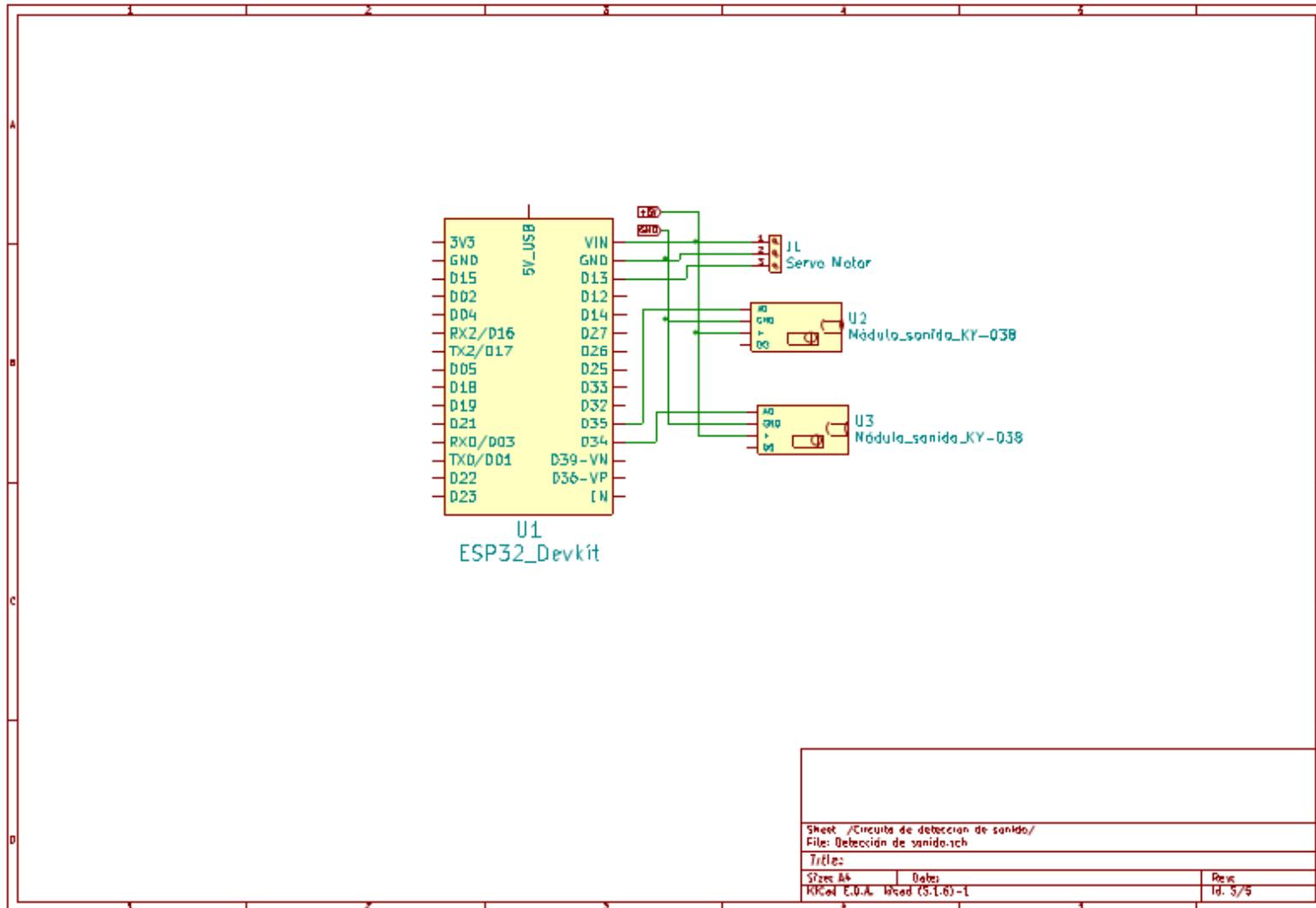
Anexo 2 Circuito de la motorización básica



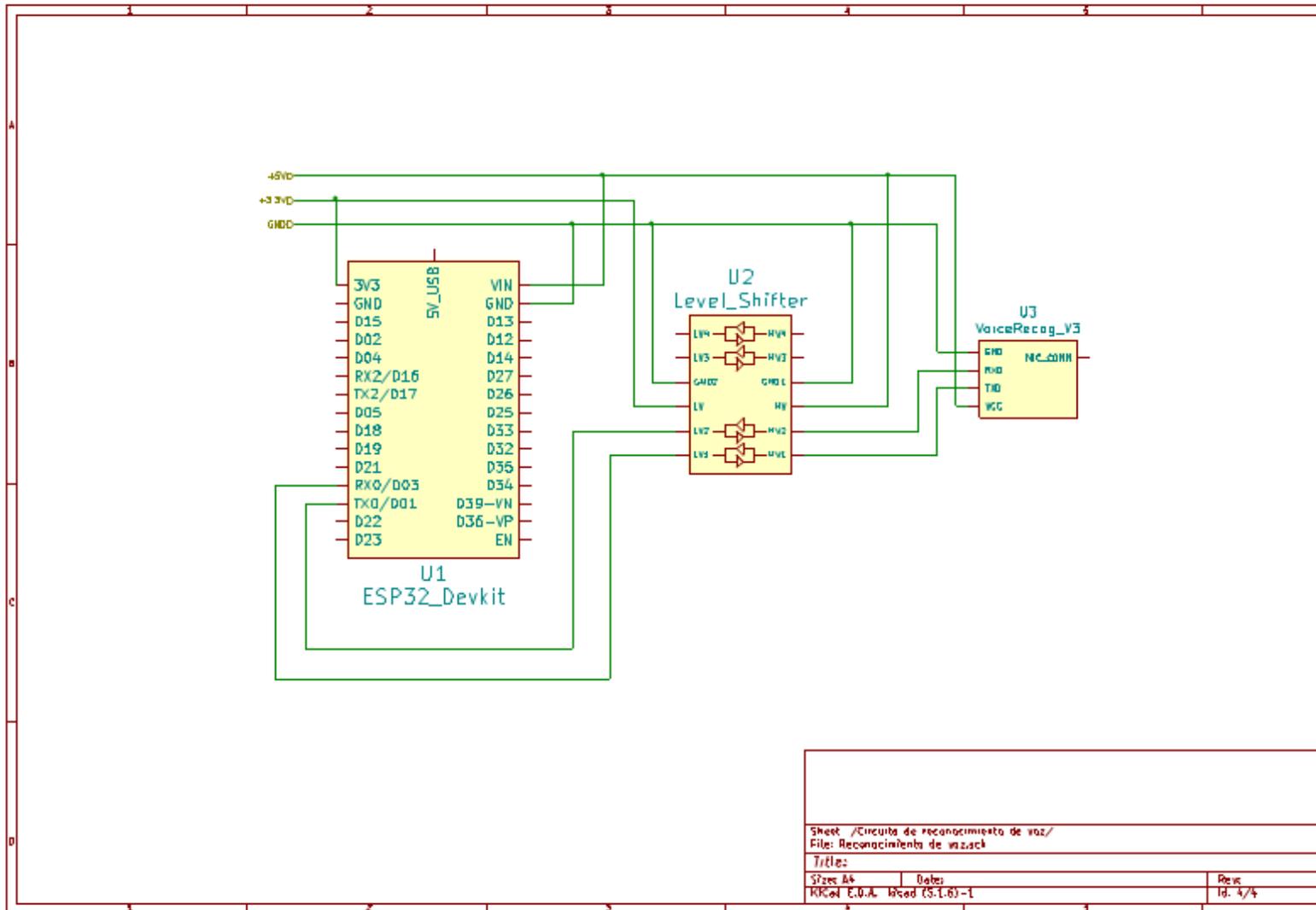
Anexo 3 Circuito del sistema de seguimiento



Anexo 4 Circuito del sistema de detección de posición



Anexo 5 Circuito del módulo de reconocimiento de voz



Anexo 6 Instrucciones del módulo de reconocimiento de voz

Clave (Formato HEX)	Descripción
0x00	Entra en modo de espera de algún comando
0x01	Eliminar las instrucciones del grupo 1
0x02	Eliminar las instrucciones del grupo 2
0x03	Eliminar las instrucciones del grupo 3
0x04	Eliminar las instrucciones de los 3 grupos
0x11	Comienza a grabar instrucciones del grupo 1
0x12	Comienza a grabar instrucciones del grupo 2
0x13	Comienza a grabar instrucciones del grupo 3
0x21	Importar grupo 1 para la utilización de los comandos de voz
0x22	Importar grupo 2 para la utilización de los comandos de voz
0x23	Importar grupo 3 para la utilización de los comandos de voz
0x24	Consulta los grupos grabados
0x31	Cambia la velocidad a 2400 bps
0x32	Cambia la velocidad a 4800 bps
0x33	Cambia la velocidad a 9600 bps
0x34	Cambia la velocidad a 19200 bps
0x35	Cambia la velocidad a 38400bps
0x36	Cambia a modo común
0x37	Cambia a modo compacto
0xbb	Información de la versión del módulo

Anexo 7 Proyección de la rueda del andador y montaje de piezas diseñadas

